

TI MSP430 大学计划教材

MSP430 系列 16 位超低功耗单片机 原理与应用

利尔达 策划

沈建华 杨艳琴 翟骁曙 编著

清华大学出版社

北 京

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 单片微型计算机	1
1.1.1 单片机的概念	1
1.1.2 单片机的特点	1
1.1.3 单片机的应用	2
1.2 MSP430 系列单片机	3
1.2.1 MSP430 系列单片机的特点	3
1.2.2 MSP430 系列单片机的发展和应用	5
1.3 MSP430 系列单片机应用选型	6
1.3.1 MSP430 系列单片机的命名规则	6
1.3.2 MSP430 系列单片机的选型	7
本章小结	8
思考题与习题	9
第 2 章 MSP430 单片机结构	10
2.1 MSP430 结构概述	10
2.2 MSP430 系列产品	11
2.2.1 无 LCD 驱动系列产品	11
2.2.2 带 LCD 驱动系列产品	29
2.3 MSP430 CPU 结构和特点	41
2.4 MSP430 存储器结构和地址空间	44
2.4.1 数据存储器	45
2.4.2 程序存储器	46
2.4.3 外围模块寄存器	48
本章小结	50
思考题与习题	50
第 3 章 MSP430 指令系统与程序设计	52
3.1 指令系统概述	52
3.2 寻址方式	57
3.3 指令系统介绍	60
3.3.1 数据传送类指令	61

3.3.2 数据运算类指令	66
3.3.3 逻辑操作指令	75
3.3.4 位操作指令	81
3.3.5 跳转与程序流程的控制类指令	82
3.4 程序设计	86
3.4.1 程序设计基础	86
3.4.2 汇编语言程序设计	87
3.4.3 C 语言程序设计	98
本章小结	112
思考题与习题	113
第 4 章 MSP430 单片机片内外围模块	115
4.1 时钟模块	115
4.1.1 时钟模块设计要求	115
4.1.2 MSP430X1XX 系列时钟模块	116
4.1.3 低速晶体振荡器	117
4.1.4 高速晶体振荡器	118
4.1.5 DCO 振荡器	118
4.1.6 基础时钟模块应用举例	122
4.1.7 MSP430F4XX 系列时钟模块	123
4.2 低功耗结构	131
4.2.1 低功耗控制	131
4.2.2 系统工作模式	132
4.2.3 超低功耗事件驱动工作	134
4.2.4 低功耗应用原则	136
4.2.5 低功耗应用举例	137
4.3 MSP430 各种端口	138
4.3.1 MSP430 端口概述	138
4.3.2 端口 P1 和 P2	139
4.3.3 端口 P3、P4、P5 和 P6	142
4.3.4 端口 COM 和 S	142
4.4 定时器	142
4.4.1 MSP430 定时功能及其实现	142
4.4.2 看门狗定时器	144
4.4.3 基本定时器	148
4.4.4 16 位定时器 A	151
4.4.5 16 位定时器 B	173

4.5	MSP430 液晶驱动模块.....	175
4.5.1	液晶驱动模块概述.....	175
4.5.2	液晶驱动模块功能结构.....	177
4.5.3	液晶驱动模块应用举例.....	183
4.6	硬件乘法器.....	186
4.7	FLASH 存储器模块.....	189
4.7.1	FLASH 存储器结构.....	189
4.7.2	FLASH 存储器的寄存器及操作.....	191
4.7.3	FLASH 模块操作举例.....	197
4.8	比较器 A.....	198
4.8.1	比较器结构与操作.....	198
4.8.2	比较器 A 的寄存器.....	200
4.8.3	比较器 A 应用举例.....	202
4.9	DMA 控制器.....	203
4.9.1	MSP430 DMA 控制器结构与功能.....	204
4.9.2	DMA 控制器相关操作.....	205
4.9.3	DMA 寄存器.....	211
4.9.4	DMA 应用举例.....	215
4.10	MSP430 系列通用串行通信模块的异步模式.....	217
4.10.1	MSP430 串行通信概述.....	217
4.10.2	异步操作.....	218
4.10.3	异步通信寄存器.....	225
4.10.4	异步操作应用举例.....	229
4.11	MSP430 系列通用串行模块的同步模式.....	231
4.11.1	SPI 概述.....	231
4.11.2	同步操作.....	232
4.11.3	同步通信寄存器.....	235
4.11.4	同步操作应用举例.....	238
4.12	MSP430 系列通用串行模块的 I ² C 模式.....	242
4.12.1	I ² C 概述.....	242
4.12.2	I ² C 模式.....	244
4.12.3	I ² C 模块寄存器及相关操作.....	248
4.12.4	I ² C 应用举例.....	256
4.13	MSP430 模数转换模块.....	258
4.13.1	模数转换概述.....	258
4.13.2	ADC12 结构.....	259
4.13.3	ADC12 寄存器.....	261

4.13.4	ADC12 转换模式.....	267
4.13.5	ADC12 应用举例.....	273
4.14	MSP430 的数模转换模块.....	275
4.14.1	数模转换概述.....	275
4.14.2	DAC12 结构与功能.....	276
4.14.3	DAC12 寄存器.....	277
4.14.4	DAC12 操作.....	280
4.14.5	DAC12 应用举例.....	283
	本章小结.....	285
	思考题与习题.....	285
第 5 章	MSP430 单片机应用.....	290
5.1	MSP430 常用接口设计.....	290
5.1.1	键盘接口.....	290
5.1.2	LED 显示接口.....	298
5.1.3	液晶显示接口.....	301
5.1.4	常用 LED 驱动功率接口.....	310
5.1.5	继电器型驱动接口.....	313
5.2	MSP430 片内外围模块应用.....	315
5.2.1	定时器.....	315
5.2.2	比较器.....	320
5.2.3	SPI 同步操作.....	328
5.2.4	A/D、D/A 和 DMA.....	334
5.3	MSP430 单片机应用设计举例.....	337
5.3.1	自校准变频电源.....	337
5.3.2	超低功耗手持式电子斜度计/加速度计.....	340
	本章小结.....	352
	思考题与习题.....	352
附录 A	MSP430 模块空间分配.....	354
附录 B	编译内部错误信息.....	380
附录 C	397
参考文献	432

第 1 章 概 述

1.1 单片微型计算机

1.1.1 单片机的概念

微型计算机（微机）具有体积小、价格低、使用方便、可靠性高等一系列优点，因此一问世就显示出强大的生命力，被广泛用于国防、工农业生产和商业管理等领域。特别是近年来微处理器的高速发展，使其已渗透到人类生活的各个领域，给人类世界带来了难以估量的变革。

纵观微处理器的发展，可以明显地看出其正朝着两个方向进行：

- 一是朝着面向数据运算、信息处理等功能的系统机方向发展。系统机以速度快、功能强、存储量大、软件丰富、输入/输出设备齐全为主要特点，采用高级语言编程，适用于数据运算、文字信息处理、人工智能、网络通信等场合。
- 另一方面，在有些应用领域中，如智能化仪器仪表、电讯设备、自动控制设备、汽车乃至家用电器等，要求的运算、控制功能相对并不很复杂，但对体积、成本、功耗等的要求却比较苛刻。为适应这方面的需求，产生了一种将中央处理器、存储器、I/O 接口电路以及连接它们的总线都集成在一块芯片上的计算机，即所谓的单片微型计算机，简称单片机（Single Chip Microcomputer）。单片机在设计上主要突出了控制功能，调整了接口配置，在单一芯片上制成了结构完整的计算机，因此，单片机也称为微控制器（MCU）。

单片机分为通用型和专用型两大类，通常所说的单片机和本书介绍的 MSP430 系列单片机都是指通用型单片机。通用型单片机是把可开发的资源全部提供给使用者。专用型的单片机也叫专用微控制器，是针对某些应用专门设计的，例如频率合成调谐器、录音机机芯控制器、打印机控制器等。

1.1.2 单片机的特点

单片机具有如下特点：

- 小巧灵活、成本低、易于产品化，它能方便地组装成各种智能式控制设备以及各种智能仪器仪表。
- 面向控制，能针对性地解决从简单到复杂的各类控制任务，因而能获得最佳性价比。

- 抗干扰能力强, 适应温度范围宽, 在各种恶劣环境下都能可靠地工作, 这是其他机型无法比拟的。
- 可以很方便地实现多机和分布式控制, 使整个系统的效率和可靠性大为提高。

著名的半导体厂商——美国德州仪器 (TI) 在 20 世纪 70 年代首先推出了 TMS1000 系列 4 位单片机。20 世纪 80 年代到 90 年代, 国内主要使用 Intel 的 MCS51 系列和 Motorola 的 68HC 系列 8 位单片机。目前主要的单片机厂商还有 Atmel、Microchip、Philips 等。

单片机由于应用面广, 生产批量大而使成本低廉 (目前最低价格为每片 3~5 元人民币), 系统结构简单而使可靠性增加, 采用 CMOS 工艺大大降低了功耗。因此单片机问世之后很快成为微型计算机的一个重要分支, 发展极为迅速。从 4 位、8 位、16 位到 32 位单片机种类已有数百种, 全世界去年销售量已达数亿片。

1.1.3 单片机的应用

单片机可以应用到人类生活的各个领域中去。以下列出的都是单片机应用比较活跃

领域:

- 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。它既可以作单机控制器, 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, 在通用工控中, 可用于各种机床控制、电机控制、工业机器人、各种生产线、各种过程控制、各种检测系统等; 在军事工业中, 可用于导弹控制、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, 可用于点火控制、变速器控制、防滑刹车、排气控制等。
- 智能化的仪器仪表: 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、元素测定等各类仪器仪表中, 使仪器仪表数字化、智能化、微型化, 功能大大提高。
- 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。
- 计算机网络与通信方面: 单片机可用 BIT BUS、CAN、以太网等构成分布式网络系统, 还可以用于调制解调器、各种智能通信设备 (例如小型背负式通信机、列车无线通信等)、无线遥控系统等。
- 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。

总之, 单片机具有体积小、功能强、价格便宜等优点, 是微机应用产品化的最佳选择。单片机的出现也改变了传统的电路设计方法, 过去经常采用模拟电路、脉冲电路、组合逻辑实现的电路系统, 现在相当一部分可以用各种单片机 (或叫做微控制器) 予以取代。传统的逻辑设计方法正在演变成软件和硬件相结合的方法, 许多电路设计问题将转化为程序设计问题。

1.2 MSP430 系列单片机

MSP430 系列单片机是美国德州仪器 (TI) 1996 年开始推向市场的一种 16 位超低功耗的混合信号处理器 (Mixed Signal Processor)。称之为混合信号处理器, 主要是由于针对实际应用需求, 把许多模拟电路、数字电路和微处理器集成在一个芯片上, 以提供“单片”解决方案。

1.2.1 MSP430 系列单片机的特点

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, 在短短几年时间里发展极为迅速, 应用也日趋广泛。MSP430 系列单片机针对各种不同应用, 包括一系列不同型号的器件。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 数据保持方式下耗电仅 0.1 μ A, 活动模式耗电 250 μ A/MIPS (MIPS: 每秒百万条指令数), I/O 输入端口的漏电流最大仅 50nA。

MSP430 系列单片机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。在系统中共有一种活动模式 (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 μ s, 通过合理编程, 既以降低系统功耗, 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, 是用 W/MIPS (瓦特/百万指令每秒) 来衡量处理器的功耗与性能关系的, 这种标称方法是合理的。MSP430 系列单片机在活动模式时耗电 250 μ 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 μ 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 位处理器高不止两倍）。TI 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/12/14 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*8 条 I/O 口线，I/O 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 6mA），保证系统安全；P1、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 200Ksps，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，为系统的单片解决方案提供了极大的方便。

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做 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 -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 OTP 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 OTP 型和 ROM 型的器件是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,因此采用先通过 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 机和一个 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 IAR Workbench V2.10。

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。

1.2.2 MSP430 系列单片机的发展和应用

TI 公司从 1996 年推出 MSP430 系列开始到 2000 年初,推出了 33X、32X、31X 等几个系列。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 ROM 型适应大批量生产的产品。MSP430 的 3XX 系列,在国内几乎没有使用。

随着 FLASH 技术的迅速发展,TI 公司也将这一技术引入 MSP430 系列单片机中。2000 年推出了 F11X/11X1 系列,这个系列采用 20 脚封装,内存容量、片上功能和 I/O 引脚数比较少,但是价格比较低廉。在 2000 年 7 月推出了带 ADC 或硬件乘法器的 F13X/F14X 系列。在 2001 年 7 月到 2002 年又相继推出了带 LCD 控制器的 F41X、F43X、F44X。

TI 在 2003 到 2004 年期间推出了 F15X 和 F16X 系列产品。在这一新的系列中,有了两个方面的发展。一是增加了 RAM 的容量,如 F1611 的 RAM 容量增加到了 10KB,这样就可以引入实时操作系统(RTOS)或简单文件系统等。二是从外围模块来说,增加了 I²C、DMA、DAC12 和 SVS 等模块。

另外,TI 在 2004 年下半年推出了 MSP430X21X 系列,该系列是对 MSP430X1XX 片内外设的进一步精简,价格低廉,适合做一些简单应用。

近两年,TI 公司针对某些特殊应用领域,利用 MSP430 的超低功耗特性,还推出了一些专用单片机,如专门用于电量计量的 MSP430FE42X,用于水表、气表、热表等具有无磁传感模块的 MSP430FW42X,以及用于人体医学监护(血糖、血压、脉搏等)的 MSP430FG42X 单片机。用这些单片机来设计相应的专用产品,不仅具有 MSP430 的超低功耗特性,还能大大简化系统设计。

根据 TI 在 MSP430 系列单片机上的发展计划,在今后将陆续推出性能更高、功能更强

的 F5XX 系列，这一系列单片机运行速度可达 25~30MIPS，并具有更大的 FLASH（128KB）及更丰富的外设接口（CAN、USB 等）。

MSP430 系列单片机不仅可以应用于许多传统的单片机应用领域，如仪器仪表、自动控制以及消费品领域，更适合用于一些电池供电的低功耗产品，如能量表（水表、电表、气表等）、手持式设备、智能传感器等，以及需要较高运算性能的智能仪器设备。

1.3 MSP430 系列单片机应用选型

1.3.1 MSP430 系列单片机的命名规则

MSP430 系列单片机种类繁多，在介绍应用选型之前，需要先了解 MSP430 系列单片机的命名规则，如图 1-1 所示。

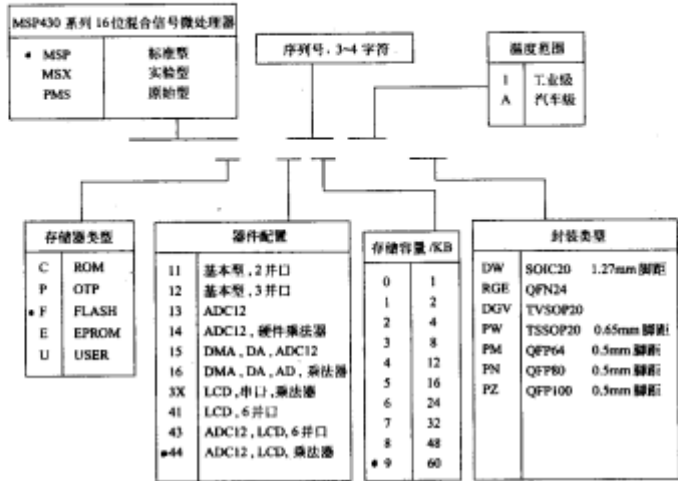


图 1-1 MSP430 系列单片机的命名规则

以 MSP430F449 为例，其中 F 代表 FLASH 型，44 代表片内具有 ADC12、LCD 和硬件乘法器等外围部件，9 代表存储容量为 60KB。

其中各种类型存储器特性如表 1-1 所示。

表 1-1 存储器特性

类 型	名 称	特 性
C	ROM	只读存储器，适合大批量生成
P	OTP	单次可编程存储器，适合小批量生产
E	EPROM	可擦除只读存储器，适合开发样机
F	FLASH	闪存，具有 ROM 型的非易失性和 EPROM 的可擦除性

1.3.2 MSP430 系列单片机的选型

应用 MSP430 系列单片机构建应用系统,进行总体设计时要考虑选型的问题。选择 MSP430 系列单片机型号应该遵循以下原则:

- ☐ 选择最容易实现设计目标且性价比高的机型。
- ☐ 在研制任务重,时间紧的情况下,首先选择熟悉的机型。
- ☐ 欲选的机型在市场上要有稳定充足的货源。

MSP430 系列的 FLASH 型单片机在系统设计、开发调试及实际应用上都具显著优势,使应用程序升级和代码改进更为方便,成为国内应用的主流机型。其存储器模块是目前业界所有内部集成 FLASH 存储器产品中能耗最低的一种,消耗功率仅为其他 FLASH 微控制器(Flash Mcu)的五分之一。FLASH 的主要优点是结构简单、集成密度大、电可擦写、成本低。由于 FLASH 可以局部擦除,且写入、擦除次数可达数万次以上,从而使开发微控制器不再需要昂贵的专用仿真器。

目前, MSP430 系列单片机主流 FLASH 型产品的选型可以参照表 1-2 (国内最新产品信息, 请参见 www.lierda.com)。

表 1-2 MSP430 FLASH 型单片机选型表

型 号	FLASH	RAM	AD	DA	DMA	LCD 段数	USART	比较器 A	硬件乘法器	定时器	封装类型	I/O
MSP430F1101A	1KB	128B	Slope				软件	✓		4	20SOIC, TSSOP	14
MSP430F1111A	2KB	128B	slope				软件	✓		4	20SOIC, TSSOP	14
MSP430F1121A	4KB	256B	slope				软件	✓		4	20SOIC, TSSOP	14
MSP430F1122	4KB	256B	10bit				软件			4	20SOIC, TSSOP	14
MSP430F1132	8KB	256B	10bit				软件			4	20TSSOP	14
MSP430F1222	4KB	256B	10bit				硬件			4	28SOIC, TSSOP	22
MSP430F123	8KB	256B	slope				硬件	✓		4	28SOIC, TSSOP	22
MSP430F1232	8KB	256B	10bit				硬件 1			4	28SOIC, TSSOP	22
MSP430F133	8KB	256B	12bit				硬件 1	✓		7	64LQFP	48
MSP430F135	16KB	256B	12bit				硬件 1	✓		7	64LQFP	48
MSP430F147	32KB	1KB	12bit				硬件 2	✓	✓	11	64LQFP	48
MSP430F1471	32KB	1KB	slope				硬件 2	✓	✓	11	64LQFP	48
MSP430F148	48KB	1KB	12bit				硬件 2	✓	✓	11	64LQFP	48
MSP430F1481	48KB	2KB	slope				硬件 2	✓	✓	11	64LQFP	48
MSP430F149	60KB	2KB	12bit				硬件 2	✓	✓	11	64LQFP	48
MSP430F1491	60KB	2KB	slope				硬件 2	✓	✓	11	64LQFP	48

续表

型 号	FLASH	RAM	AD	DA	DMA	LCD 段数	USART	比较器 A	硬件乘法器	定时器	封装类型	I/O
MSP430F155	16KB	512B	12bit	12bit	✓		硬件 1	✓		11	64LQFP	48
MSP430F156	24KB	512B	12bit	12bit	✓		硬件 1	✓		11	64LQFP	48
MSP430F157	32KB	1KB	12bit	12bit	✓		硬件 1	✓		11	64LQFP	48
MSP430F167	32KB	1KB	12bit	12bit	✓		硬件 2	✓	✓	11	64LQFP	48
MSP430F168	48KB	2KB	12bit	12bit	✓		硬件 2	✓	✓	11	64LQFP	48
MSP430F169	60KB	2KB	12bit	12bit	✓		硬件 2	✓	✓	11	64LQFP	48
MSP430F412	4KB	256B	slope			96	软件	✓		5	64LQFP	48
MSP430F413	8KB	256B	slope			96	软件	✓		5	64LQFP	48
MSP430FE423	8KB	256B	16bit			128	硬件 1	✓	✓	5	64QFP	14
MSP430FE425	16KB	512B	16bit			128	硬件 1	✓	✓	5	64QFP	14
MSP430FE427	32KB	1KB	16bit			128	硬件 1	✓	✓	5	64QFP	14
MSP430FW423	8KB	512B	16bit			96	软件	✓		10	64QFP	48
MSP430FW425	16KB	512B	16bit			96	软件	✓		10	64QFP	48
MSP430FW427	32KB	1KB	16bit			96	软件	✓		10	64LQFP	48
MSP430F435	16KB	512B	12bit			160	硬件 1	✓		8	80,100 LQFP	48
MSP430F436	24KB	1KB	12bit			160	硬件 1	✓		8	80,100 LQFP	48
MSP430F437	32KB	1KB	12bit			160	硬件 1	✓		8	80,100 LQFP	48
MSP430F447	32KB	1KB	12bit			160	硬件 2	✓	✓	12	100LQFP	48
MSP430F448	48KB	2KB	12bit			160	硬件 2	✓	✓	12	100LQFP	48
MSP430F449	60KB	2KB	12bit			160	硬件 2	✓	✓	12	100LQFP	48

注:

slope:斜边 ADC。

“✓”: 产品中含有对应器件。

软件: 软件方式实现串行通信。

硬件: 硬件方式实现串行通信。

硬件 1: 片内含有一个硬件串行通信模块。

硬件 2: 片内含有两个硬件串行通信模块。

本章小结

随着大规模集成技术、计算机科学的迅速发展,以及广泛应用领域的迫切需求,单片机脱颖而出,并逐渐形成微型计算机发展中的一个重要分支。单片机在性能上突出“控制功能”,具有一系列与之配合的特点。

TI 的 MSP430 系列单片机具有超低功耗、处理能力强大、片内外设丰富、系统工作稳定、开发环境便捷等显著优势,和其他类型单片机相比具有更好的使用效果、更广泛的应

用前景。并且其产品线较广，能够解决很多其他类型单片机不能解决的问题。

本章讲述单片机的概念、特点和应用领域，MSP430 系列单片机的特点、发展和应用概况。通过本章的学习，能够初步了解 MSP430 系列单片机特点和应用，从而为后续章节的学习打下良好基础。

思考题与习题

1. 微处理器的发展方向是什么？
2. 单片机的概念是什么？
3. 单片机和我们通常所用的微型计算机有什么区别和联系？
4. 单片机常见的应用领域有哪些？
5. 如何理解 MSP430 系列单片机的“单片”解决能力？
6. MSP430 系列单片机最显著特性是什么？
7. 如何理解 MSP430 系列单片机的低功耗特性？
8. 为什么 MSP430 系列单片机特别适用于电池供电和手持设备？
9. 如何理解 MSP430 系列单片机的强大处理能力？
10. 在开发环境方面，MSP430 系列单片机和传统单片机相比，有哪些显著优势？
11. 构成 MSP430 系列单片机的各类存储器有什么特点？各自适用于哪些场合？
12. MSP430 系列单片机应用选型的依据是什么？

第2章 MSP430 单片机结构

单片机在结构上突破了典型微机按逻辑功能决定芯片结构和侧重于数据处理的传统思想,将构成计算机的中央处理器、存储器、I/O 模块、相关接口电路以及连接它们的总线集成在一块芯片上。在众多的单片机中,德州仪器的 MSP430 系列单片机的结构颇具特色,并具有良好的性能。MSP430 系列超低功耗单片机由针对各种不同应用目标、具有不同外围模块的系列芯片组成。本章将介绍 MSP430 各系列产品,以及 MSP430 系列单片机中 CPU、存储器和外围模块的结构与组织方式。

2.1 MSP430 结构概述

MSP430 系列单片机结构如图 2-1 所示。

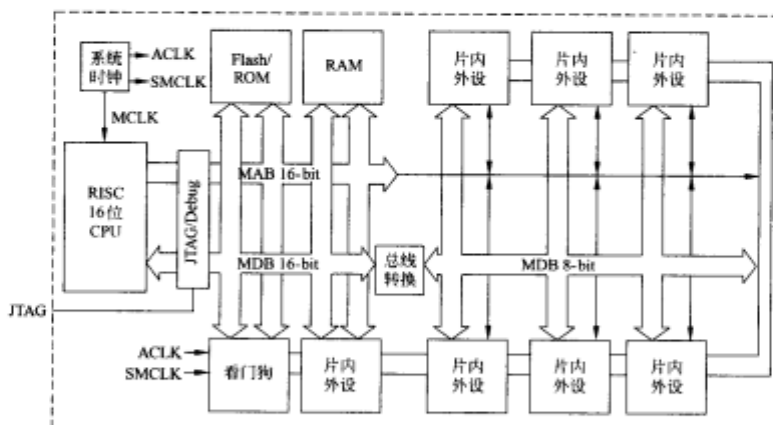


图 2-1 MSP430 系列单片机结构

从图 2-1 中可以看出, MSP430 系列单片机的结构具有以下明显特征:

- ❑ 16 位 CPU 通过总线连接到存储器和外围模块。
- ❑ 直接嵌入仿真处理, 具有 JTAG 接口。
- ❑ 多时钟能够降低功耗, 多总线能够降低噪声。
- ❑ 16 位数据宽度, 数据处理更为有效。

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 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的形式取得代码,而对数据可以用字或字节方式访问。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、MDB、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,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,DMA 控制器等。关于各种外围模块的结构、功能及使用方式请参见本书第 4 章。

2.2 MSP430 系列产品

德州仪器(TI)的 MSP430 系列单片机种类齐全,用户可以根据应用需求选择合适的芯片。总的来说,MSP430 系列单片机可以分成两类:片内无段式 LCD 驱动的产品和片内有段式 LCD 驱动的产品。

2.2.1 无 LCD 驱动系列产品

片内无段式液晶驱动模块的产品主要是 MSP430X1XX 和 MSP430X2XX 系列,这两个系列构成应用系统时,性价比高,使用方式灵活,控制简单,其中 MSP430X1XX 是 TI 品种最多的一个系列,实际中应用很广。MSP430X1XX 系列又可细化为 MSP430X11X 系列;MSP430X12X 系列;MSP430X13X 系列;MSP430X14X 系列;MSP430F15/16X 系列。上述各系列的结构和特点不同。接下来对它们进行详细介绍。

1. MSP430X11X 系列

(1) 特点

- ☐ 电源电压范围:1.8~3.6 V。
- ☐ 超低功耗:
 - 3 μ A @ 4 kHz, 2.2 V;
 - 160 μ A @ 1 MHz, 2.2 V。
- ☐ 5 种节电模式:
 - 等待方式 0.7 μ A;
 - RAM 保持的节电方式 0.1 μ A。
- ☐ 从等待方式唤醒时间小于 6 μ s。
- ☐ 16 位 RISC 结构,125ns 指令周期。
- ☐ 基本时钟模块配置:
 - 多个内部电阻,一个外部电阻;

32kHz 晶体;

高频率晶体;

谐振器;

外部时钟源。

- 配合外部器件可构成单斜边 A/D 转换器。
- MSP430F1132 内有 10 位 200Kbps 的 A/D 转换器, 自带采样保持。
- 具有 3 个捕获/比较寄存器的 16 位定时器。
- 保密熔丝的程序代码保护。
- 该系列产品型号众多:
 - ROM 型: MSP430C1111, MSP430C1121;
 - OTP 型: MSP430P112;
 - FLASH 型: MSP430F110, MSP430F1101, MSP430F1101A, MSP430F1111A, MSP430F112, MSP430F1121, MSP430F1121A, MSP430F1132;
 - EPROM 型: MSP430E1121。

(2) 结构

本书的结构框图摘自 TI 的数据手册。

MSP430X11X 系列单片机结构如图 2-2 所示。

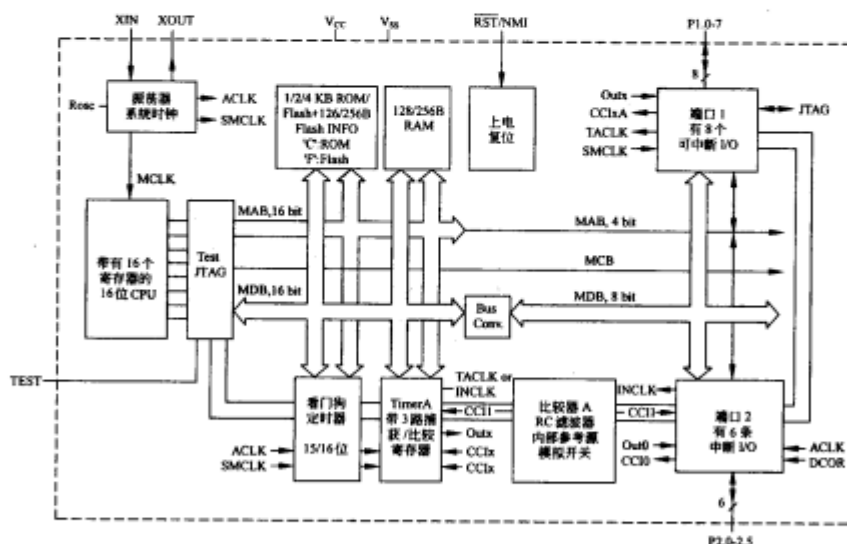


图 2-2 MSP430X11X 系列单片机结构

注: MSP430X11X 系列各产品因型号不同, 所以其具体结构和图 2-2 所示的可能存在细微差别。

(3) 引脚

MSP430X11X 系列单片机的引脚如图 2-3 所示, 其引脚说明如表 2-1 所示。

注：本节列出 MSP430 各系列单片机的引脚供用户应用设计时参考，关于引脚说明部分，结合本书第4章各具体外围模块，学习效果更佳。由于 MSP430 系列单片机片内资源丰富，需要众多引脚，受芯片引脚数限制，很多引脚具有复用功能。

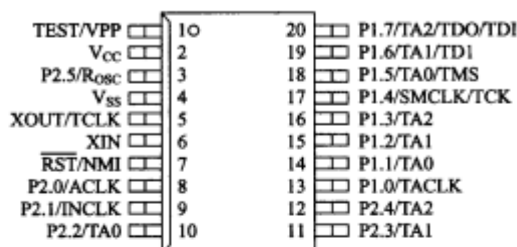


图 2-3 MSP430X11X 系列单片机引脚

表 2-1 MSP430X11X 系列单片机引脚说明

引 脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
P1.0/TACLK	13	I/O	通用数字 I/O 引脚/Time_A, TACLK 时钟信号输入
P1.1/TA0	14	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI0A 输入, 比较: OUT0 输出
P1.2/TA1	15	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI1A 输入, 比较: OUT1 输出
P1.3/TA2	16	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI2A 输入, 比较: OUT2 输出
P1.4/SMCLK/TCK	17	I/O	通用数字 I/O 引脚/SMCLK 信号输出/测试时钟, 用于器件编程和测试的时钟输入端
P1.5/TA0/TMS	18	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT0 输出/测试方式选择, 器件编程和测试输入端
P1.6/TA1/TDI	19	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT1 输出/测试数据输入端
P1.7/TA2/TDO/TDI	20	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT2 输出/测试数据输入端/编程时数据输入端
P2.0/ACLK	8	I/O	通用数字 I/O 引脚/ACLK 输出端
P2.1/INCLK	9	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, INCLK 时钟信号
P2.2/TA0	10	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI0B 输入, 比较: OUT0 输出
P2.3/TA1	11	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT1 输出
P2.4/TA2	12	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT2 输出
P2.5/R _{osc}	3	I/O	通用数字 I/O 引脚/外接一电阻用以确定 DCO 的工作频率

续表

引 脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
RST/NMI	7	I	复位信号输入/不可屏蔽中断输入
TEST/VPP	1	I	用于端口 1 的 JTAG 引脚的测试方式选择
V _{CC}	2		电源引入端
V _{SS}	4		电源地
XIN	6	I	晶体振荡器连接端
XOUT/TCLK	5	I/O	晶体振荡器输出端/测试时钟输入端

2. MSP430X12X 系列

(1) 特点

- ☐ 低电源电压范围：1.8~3.6 V。
- ☐ 超低功耗：
 - 3 μ A @ 4 kHz, 2.2 V;
 - 200 μ A @ 1 MHz, 2.2 V。
- ☐ 5 种节电模式：
 - 等待方式 0.7 μ A;
 - RAM 保持的节电方式 0.1 μ A。
- ☐ 从等待方式唤醒时间小于 6 μ s。
- ☐ 16 位 RISC 结构, 125ns 指令周期。
- ☐ 基本时钟模块配置：
 - 多个内部电阻, 一个外部电阻;
 - 32kHz 晶体;
 - 高频率晶体;
 - 谐振器;
 - 外部时钟源。
- ☐ 配合外部器件可构成单斜边 A/D 转换器。
- ☐ 具有 3 个捕获/比较寄存器的 16 位定时器。
- ☐ 串行通信接口可用于异步或同步 (UART/SPI) 方式。
- ☐ 与 MSP430X11X 相比, 有 3 个并行端口。
- ☐ 串行在系统编程。
- ☐ 保密熔丝的程序代码保护。
- ☐ 产品主要有 MSP430F122, MSP430F123。

(2) 结构

MSP430X12X 系列单片机结构如图 2-4 所示。

(3) 引脚

MSP430X12X 系列单片机的引脚如图 2-5 所示。

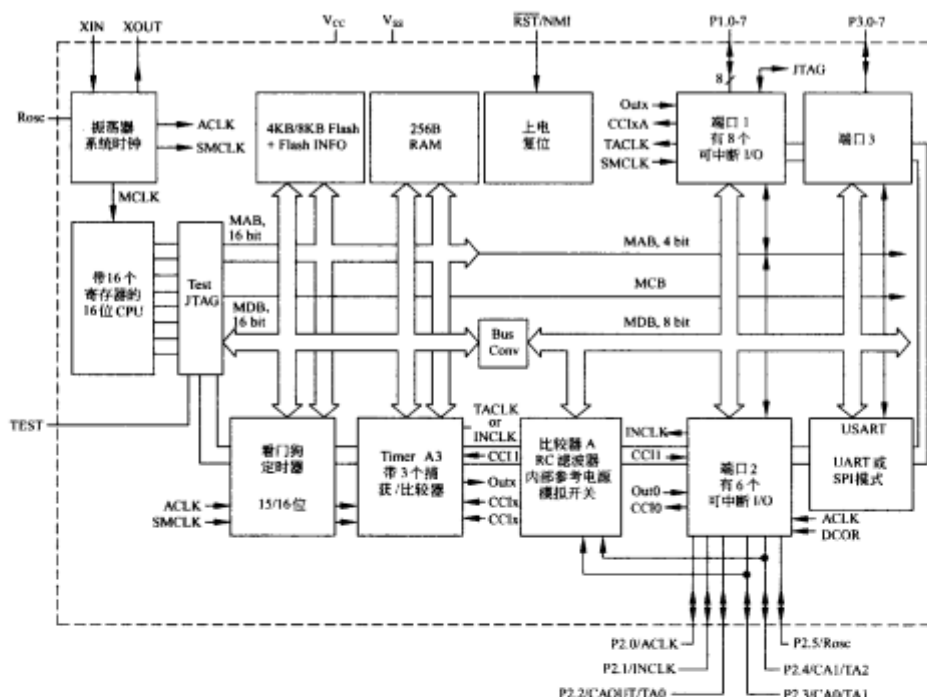


图 2-4 MSP430X12X 系列单片机结构

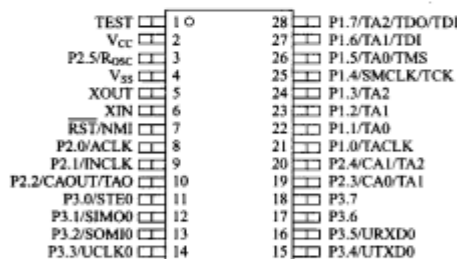


图 2-5 MSP430X12X 系列单片机引脚

MSP430X12X 系列单片机引脚说明如表 2-2 所示。

表 2-2 MSP430X12X 系列单片机引脚说明

引 脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
P1.0/TACLK	21	I/O	通用数字 I/O 引脚/Time_A, TACLK 时钟信号输入
P1.1/TA0	22	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI0A 输入, 比较: OUT0 输出
P1.2/TA1	23	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI1A 输入, 比较: OUT1 输出

续表

引 脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
P1.3/TA2	24	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI2A 输入, 比较: OUT2 输出
P1.4/SMCLK/TCK	25	I/O	通用数字 I/O 引脚/SMCLK 信号输出/测试时钟, 用于器件编程和测试的时钟输入端
P1.5/TA0/TMS	26	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT0 输出/测试方式选择, 器件编程和测试输入端
P1.6/TA1/TDI	27	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT1 输出/测试数据输入端
P1.7/TA2/TDO/TDI	28	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT2 输出/测试数据输入端/编程时数据输入端
P2.0/ACLK	8	I/O	通用数字 I/O 引脚/ACLK 输出端
P2.1/INCLK	9	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, INCLK 时钟信号
P2.2/CAOUT/TA0	10	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI0B 输入, 比较: OUT0 输出
P2.3/CA0/TA1	19	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI1B 输入, 比较: OUT1 输出
P2.4/CA1/TA2	20	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT2 输出
P2.5/R _{osc}	3	I/O	通用数字 I/O 引脚/外接一电阻用以确定 DCO 的工作频率
P3.0/STE0	11	I/O	通用数字 I/O 引脚/从属传输使能: USART0/SPI 模式
P3.1/SIMO0	12	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART0 的从输入、主输出或 SPI 模式
P3.2/SOMI0	13	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART0 的从输出、主输入或 SPI 模式
P3.3/UCLK0	14	I/O	通用数字 I/O 引脚/外部时钟输入——USART0/UART 或 SPI 模式, 时钟输出——USART0/SPI 模式
P3.4/UTXD0	15	I/O	通用数字 I/O 引脚/发送数据输出——USART0/UART 模式
P3.5/URXD0	16	I/O	通用数字 I/O 引脚/接收数据输入——USART0/UART 模式
P3.6	17	I/O	通用数字 I/O 引脚
P3.7	18	I/O	通用数字 I/O 引脚
RST/NMI	7	I	复位信号输入/不可屏蔽中断输入
TEST	1	I	用于端口 1 的 JTAG 引脚的测试方式选择
V _{CC}	2		电源引入端
V _{SS}	4		电源地
XIN	6	I	晶体振荡器连接端
XOUT/TCLK	5	I/O	晶体振荡器输出端/测试时钟输入端

3. MSP430X13X 系列

(1) 特点

- 低电源电压范围: 1.8~3.6 V。

- ❑ 超低功耗:
 - 2.5 μ A @ 4 kHz, 2.2 V;
 - 280 μ A @ 1 MHz, 2.2 V。
- ❑ 5 种节电模式:
 - 等待方式 1.6 μ A;
 - RAM 保持的节电方式 0.1 μ A。
- ❑ 从等待方式唤醒时间小于 6 μ s。
- ❑ 16 位 RISC 结构, 125ns 指令周期。
- ❑ 基本时钟模块配置:
 - 高速晶体 (最高 8MHz);
 - 低速晶体 (32768Hz);
 - DCO。
- ❑ 配合外部器件可构成单斜边 A/D 转换器。
- ❑ 12 位 200Ksps 的 A/D 转换器, 自带采样保持, 多种转换方式。
- ❑ 内部温度传感器。
- ❑ 具有 3 个捕获/比较寄存器的 16 位定时器 Timer_A、Timer_B。
- ❑ 串行通信接口可用于异步或同步 (UART/SPI) 模式。
- ❑ 6 个 8 位并行端口, 且 2 个 8 位端口有中断能力。
- ❑ 片内 FLASH 存储器, 方便开发与调试。
- ❑ JTAG 引脚单独引出, 不与 I/O 口线复用。
- ❑ 串行在系统编程。
- ❑ 保密熔丝的程序代码保护。
- ❑ 器件主要有 MSP430F133, MSP430F135。

(2) 结构

MSP430X13X 系列单片机结构如图 2-6 所示。

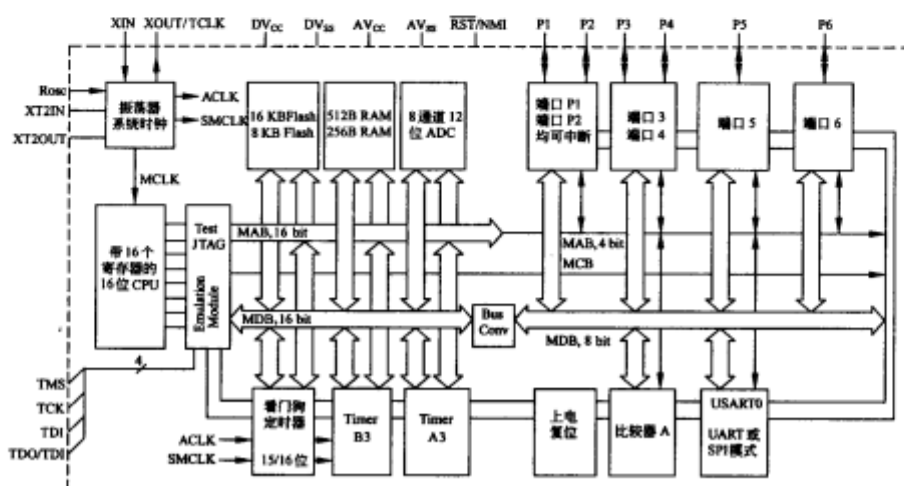


图 2-6 MSP430X13X 系列单片机结构

(3) 引脚

MSP430X13X 系列单片机的引脚如图 2-7 所示。

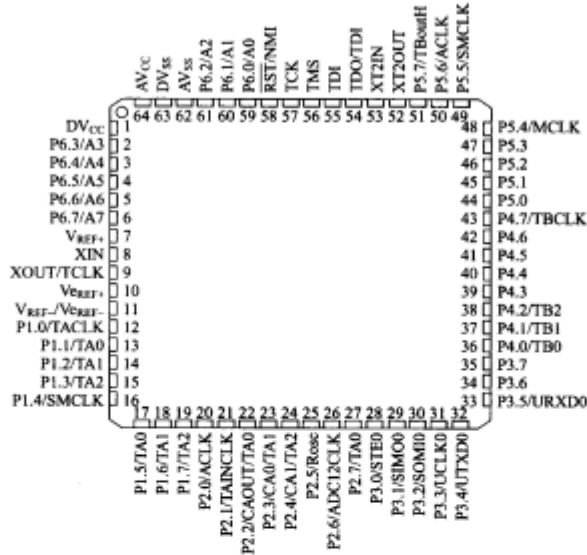


图 2-7 MSP430X13X 系列单片机引脚

MSP430X13X 系列单片机引脚说明如表 2-3 所示。

表 2-3 MSP430X13X 系列单片机引脚说明

引脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
P1.0/TACLK	12	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, TACLK 时钟信号输入
P1.1/TA0	13	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI0A 输入, 比较: OUT0 输出
P1.2/TA1	14	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI1A 输入, 比较: OUT1 输出
P1.3/TA2	15	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI2A 输入, 比较: OUT2 输出
P1.4/SMCLK	16	I/O	通用数字 I/O 引脚/SMCLK 信号输出
P1.5/TA0	17	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT0 输出
P1.6/TA1	18	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT1 输出
P1.7/TA2	19	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT2 输出
P2.0/ACLK	20	I/O	通用数字 I/O 引脚/ACLK 输出端
P2.1/TAINCLK	21	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, INCLK 时钟信号
P2.2/CAOUT/TA0	22	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI0B 输入, 比较: OUT0 输出

续表

引 脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
P2.3/CA0/TA1	23	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT1 输出
P2.4/CA1/TA2	24	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT2 输出
P2.5/R _{osc}	25	I/O	通用数字 I/O 引脚/外接一电阻用以确定 DCO 的工作频率
P2.6/ADC12CLK	26	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器的转换时钟
P2.7/TA0	27	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT0 输出
P3.0/STE0	28	I/O	通用数字 I/O 引脚/从属传输使能: USART0/SPI 模式
P3.1/SIMO0	29	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART0/SPI 模式的从输入或主输出
P3.2/SOMI0	30	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART0/SPI 模式的从输出或主输入
P3.3/UCLK0	31	I/O	通用数字 I/O 引脚/外部时钟输入——USART0/UART 或 SPI 模式, 时钟输出——USART0/SPI 模式
P3.4/UTXD0	32	I/O	通用数字 I/O 引脚/发送数据输出——USART0/UART 模式
P3.5/URXD0	33	I/O	通用数字 I/O 引脚/接收数据输入——USART0/UART 模式
P3.6	34	I/O	通用数字 I/O 引脚
P3.7	35	I/O	通用数字 I/O 引脚
P4.0/TB0	36	I/O	通用数字 I/O 引脚/捕获 I/P 或 PWM 输出口——定时器 B ₃ CCR0
P4.1/TB1	37	I/O	通用数字 I/O 引脚/捕获 I/P 或 PWM 输出口——定时器 B ₃ CCR1
P4.2/TB2	38	I/O	通用数字 I/O 引脚/捕获 I/P 或 PWM 输出口——定时器 B ₃ CCR2
P4.3	39	I/O	通用数字 I/O 引脚
P4.4	40	I/O	通用数字 I/O 引脚
P4.5	41	I/O	通用数字 I/O 引脚
P4.6	42	I/O	通用数字 I/O 引脚
P4.7/TBCLK	43	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 B ₃ 的输入时钟 TBCLK
P5.0	44	I/O	通用数字 I/O 引脚
P5.1	45	I/O	通用数字 I/O 引脚
P5.2	46	I/O	通用数字 I/O 引脚
P5.3	47	I/O	通用数字 I/O 引脚
P5.4/MCLK	48	I/O	通用数字 I/O 引脚/主系统时钟 MCLK 输出
P5.5/SMCLK	49	I/O	通用数字 I/O 引脚/子系统时钟 SMCLK 输出
P5.6/ACLK	50	I/O	通用数字 I/O 引脚/辅助时钟 ACLK 输出
P5.7/TboutH	51	I/O	通用数字 I/O 引脚/切换所有的 PWM 数字输出口为高阻抗一定时器 B ₃ TB0~TB2
P6.0/A0	59	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 0

续表

引 脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
P6.1/A1	60	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 1
P6.2/A2	61	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 2
P6.3/A3	2	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 3
P6.4/A4	3	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 4
P6.5/A5	4	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 5
P6.6/A6	5	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 6
P6.7/A7	6	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 7
RST/NMI	58	I	复位输入/不可屏蔽中断输入口, 或自动加载程序启动 (FLASH 版本器件有此功能)
TCK	57	I	测试时钟, TCK 是用于器件测试与自动加载程序启动的时钟输入接口 (FLASH 版本器件有此功能)
TMS	56	I	测试方式选择, 器件编程与测试的输入口
TDI	55	I	测试数据输入口, 器件的保护熔丝被连接到 TDI
TDO/TDI	54	I/O	测试数据输出/编程数据输入口
VeREF+	10	I/O	送到模数转换器 ADC12 的外部基准电压
VREF+	7	O	模数转换器 ADC12 的内部基准电压的正输入端
V _{REF} /V _{CREF}	11	O	模数转换器 ADC12 的内部基准电压或外部加的基准电压负端
XIN	8	I	晶体振荡器 XT1 的输入口
XOUT/TCLK	9	I/O	晶体振荡器 XT1 的输出口或测试时钟的输入口
XT2IN	53	I	晶体振荡器 XT2 的输入口, 只能接标准晶体
XT2OUT	52	O	晶体振荡器 XT2 的输出口
AVcc	64		模拟电源的正输入端, 送到模数转换器 ADC12 的模拟部分
AVss	62		模拟电源的负输入端, 送到模数转换器 ADC12 的模拟部分
DVcc	1		数字电源的正输入端
DVss	63		数字电源的负输入端

4. MSP430X14X 系列

(1) 特点

- ☐ 低电源电压范围: 1.8~3.6 V。
- ☐ 超低功耗:
 - 2.5 μ A @ 4 kHz, 2.2 V;
 - 280 μ A @ 1 MHz, 2.2 V。
- ☐ 5 种节电模式:
 - 等待方式 1.6 μ A;
 - RAM 保持的节电方式 0.1 μ A。
- ☐ 从等待方式唤醒时间小于 6 μ s。
- ☐ 16 位 RISC 结构, 125ns 指令周期。
- ☐ 基本时钟模块配置:
 - 高速晶体 (最高 8MHz);
 - 低速晶体 (32768Hz);

DCO。

- 配合外部器件可构成单斜边 A/D 转换器。
- 12 位 200Ksps 的 A/D 转换器，自带采样保持。
- 内部温度传感器。
- 具有 3 个捕获/比较寄存器的 16 位定时器 Timer_A, Timer_B。
- 两通道串行通信接口可用于异步或同步 (UART/SPI) 模式。
- 6 个 8 位并行端口，且 2 个 8 位端口有中断能力。
- 硬件乘法器。
- 多达 60KB FLASH ROM 和 2 KB RAM。
- 串行在系统编程。
- 保密熔丝的程序代码保护。
- 器件主要有 MSP430F143, MSP430F148, MSP430F149。

(2) 结构

MSP430X14X 系列单片机结构如图 2-8 所示。

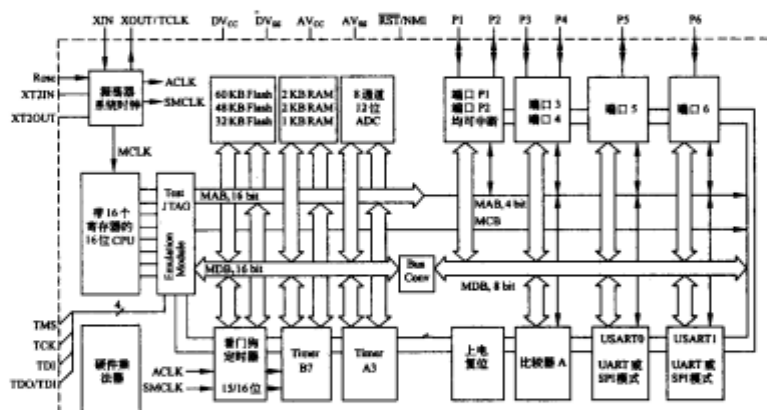


图 2-8 MSP430X14X 系列单片机结构

(3) 引脚

MSP430X14X 系列单片机的引脚如图 2-9 所示。

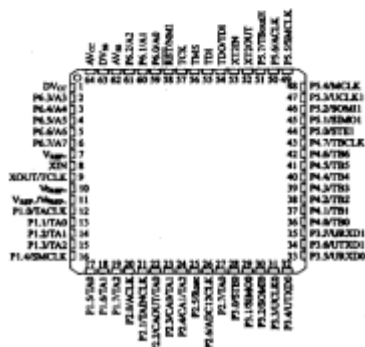


图 2-9 MSP430X14X 系列单片机引脚

MSP430X14X 系列单片机引脚说明如表 2-4 所示。

表 2-4 MSP430X14X 系列单片机引脚说明

引 脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
P1.0/TACLK	12	I/O	通用数字 I/O 引脚/Time_A, TACLK 时钟信号输入
P1.1/TA0	13	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI0A 输入, 比较: OUT0 输出
P1.2/TA1	14	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI1A 输入, 比较: OUT1 输出
P1.3/TA2	15	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI2A 输入, 比较: OUT2 输出
P1.4/SMCLK	16	I/O	通用数字 I/O 引脚/SMCLK 信号输出
P1.5/TA0	17	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT0 输出
P1.6/TA1	18	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT1 输出
P1.7/TA2	19	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT2 输出
P2.0/ACLK	20	I/O	通用数字 I/O 引脚/ACLK 输出端
P2.1/TAINCLK	21	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, INCLK 时钟信号
P2.2/CAOUT/TA0	22	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 捕获: CCI0B 输入, 比较: OUT0 输出
P2.3/CA0/TA1	23	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT1 输出
P2.4/CA1/TA2	24	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT2 输出
P2.5/R _{osc}	25	I/O	通用数字 I/O 引脚/外接一电阻用以确定 DCO 的工作频率
P2.6/ADC12CLK	26	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器的转换时钟
P2.7/TA0	27	I/O	通用数字 I/O 引脚/Timer_A, 比较: OUT0 输出
P3.0/STE0	28	I/O	通用数字 I/O 引脚/从属传输使能: USART0/SPI 模式
P3.1/SIMO0	29	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART0/SPI 模式的从输入或主输出
P3.2/SOMI0	30	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART0/SPI 模式的从输出或主输入
P3.3/UCLK0	31	I/O	通用数字 I/O 引脚/外部时钟输入——USART0/UART 或 SPI 模式, 时钟输出——USART0/SPI 模式
P3.4/UTXD0	32	I/O	通用数字 I/O 引脚/发送数据输出——USART0/UART 模式
P3.5/URXD0	33	I/O	通用数字 I/O 引脚/接收数据输入——USART0/UART 模式
P3.6/UTXD1	34	I/O	通用数字 I/O 引脚/发送数据输出——USART1/UART 模式
P3.7/URXD1	35	I/O	通用数字 I/O 引脚/接收数据输入——USART1/UART 模式
P4.0/TB0	36	I/O	通用数字 I/O 引脚/捕获 I/P 或 PWM 输出口——定时器 B_7CCR0

续表

引 脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
P4.1/TB1	37	I/O	通用数字 I/O 引脚/捕获 I/P 或 PWM 输出口——定时器 B_7CCR1
P4.2/TB2	38	I/O	通用数字 I/O 引脚/捕获 I/P 或 PWM 输出口——定时器 B_7CCR2
P4.3/TB3	39	I/O	通用数字 I/O 引脚/捕获 I/P 或 PWM 输出口——定时器 B_7CCR3
P4.4/TB4	40	I/O	通用数字 I/O 引脚/捕获 I/P 或 PWM 输出口——定时器 B_7CCR4
P4.5/TB5	41	I/O	通用数字 I/O 引脚/捕获 I/P 或 PWM 输出口——定时器 B_7CCR5
P4.6/TB6	42	I/O	通用数字 I/O 引脚/捕获 I/P 或 PWM 输出口——定时器 B_7CCR6
P4.7/TBCLK	43	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 B_3 的输入时钟 TBCLK
P5.0/STE1	44	I/O	通用数字 I/O 引脚/从机发送使能——USART1/SPI 模式
P5.1/SIMO1	45	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART1 的从输入、主输出或 SPI 模式
P5.2/SOMI1	46	I/O	通用数字 I/O 引脚 USART1 的从输出、主输入或 SPI 模式
P5.3/UCLK1	47	I/O	通用数字 I/O 引脚/外部时钟输入——USART1/UART 或 SPI 模式, 时钟输出——USART1/SPI 模式
P5.4/MCLK	48	I/O	通用数字 I/O 引脚/主系统时钟 MCLK 输出
P5.5/SMCLK	49	I/O	通用数字 I/O 引脚/子系统时钟 SMCLK 输出
P5.6/ACLK	50	I/O	通用数字 I/O 引脚/辅助时钟 ACLK 输出
P5.7/TBoutH	51	I/O	通用数字 I/O 引脚/切换所有的 PWM 数字输出口为高阻抗——定时器 B_3 TB0~TB2
P6.0/A0	59	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 0
P6.1/A1	60	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 1
P6.2/A2	61	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 2
P6.3/A3	2	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 3
P6.4/A4	3	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 4
P6.5/A5	4	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 5
P6.6/A6	5	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 6
P6.7/A7	6	I/O	通用数字 I/O 引脚/12 位 A/D 转换器模拟输入通道 7
$\overline{\text{RST}}/\text{NMI}$	58	I	复位输入/不可屏蔽中断输入, 或自动加载程序启动 (FLASH 版本器件有此功能)

续表

引 脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
TCK	57	I	测试时钟, TCK 是用于器件测试与自动加载程序启动的时钟输入接口 (FLASH 版本器件有此功能)
TMS	56	I	测试方式选择, 器件编程与测试的输入口
TDI	55	I	测试数据输入口, 器件的保护熔丝被连接到 TDI
TDO/TDI	54	I/O	测试数据输出/编程数据输入口
V _{REF+}	10	I/O	送到模数转换器 ADC12 的外部基准电压
V _{REF+}	7	O	模数转换器 ADC12 的内部基准电压的正输入端
V _{REF-/V_{REF}}	11	O	模数转换器 ADC12 的内部基准电压或外部加的基准电压负端
XIN	8	I	晶体振荡器 XT1 的输入口
XOUT/TCLK	9	I/O	晶体振荡器 XT1 的输出口或测试时钟的输入口
XT2IN	53	I	晶体振荡器 XT2 的输入口, 只能接标准晶体
XT2OUT	52	O	晶体振荡器 XT2 的输出口
AVcc	64		模拟电源的正输入端, 送到模数转换器 ADC12 的模拟部分
AVss	62		模拟电源的负输入端, 送到模数转换器 ADC12 的模拟部分
DVcc	1		数字电源的正输入端
DVss	63		数字电源的负输入端

5. MSP430F15X/F16(1)X 系列

(1) 特点

- ☐ 工作电压范围: 1.8~3.6V。
- ☐ 超低功耗:
 - 活动模式: 280 μ A, @1MHz, 2.2V;
 - 待机模式: 1.6 μ A;
 - 关闭模式 (RAM 保持): 0.1 μ A。
- ☐ 5 种省电模式。
- ☐ 从等待方式唤醒时间: 6 μ s。
- ☐ 16 位 RISC 结构, 125ns 指令周期。
- ☐ 内置三通道 DMA。
- ☐ 12 位 A/D 带采样保持内部参考源。
- ☐ 双 12 位 D/A 同步转换。
- ☐ 16 位定时器 Timer_A。
- ☐ 16 位定时器 Timer_B。
- ☐ 片内比较器 A。
- ☐ 串行通信 USART0 (UART 和 SPI、I²C) 接口。

- 串行通信 USART1 (UART 和 SPI) 接口。
- 具有可编程电平检测的供电电压管理器/监视器。
- 欠电压检测器。
- Bootstrap Loader。
- 串行在线编程, 无需外部编程电压, 可编程的保密熔丝代码保护。
- 器件系列包括:

- MSP430F155: 16KB+256B flash 存储器 512B RAM;
- MSP430F156: 24KB+256B flash 存储器 1KB RAM;
- MSP430F157: 32KB+256B flash 存储器 1KB RAM;
- MSP430F167: 32KB+256B flash 存储器 1KB RAM;
- MSP430F168: 48KB+256B flash 存储器 2KB RAM;
- MSP430F169: 60KB+256B flash 存储器 2KB RAM;
- MSP430F1610: 32KB+256B flash 存储器 5KB RAM;
- MSP430F1611: 48KB+256B flash 存储器 10KB RAM;
- MSP430F1612: 55KB+256B flash 存储器 5KB RAM。

- 64 引脚 Quad Flat Pack (QFP) 封装。

(2) 结构

MSP430F15X 系列单片机结构如图 2-10 所示, MSP430F16X 系列单片机结构如图 2-11 所示。

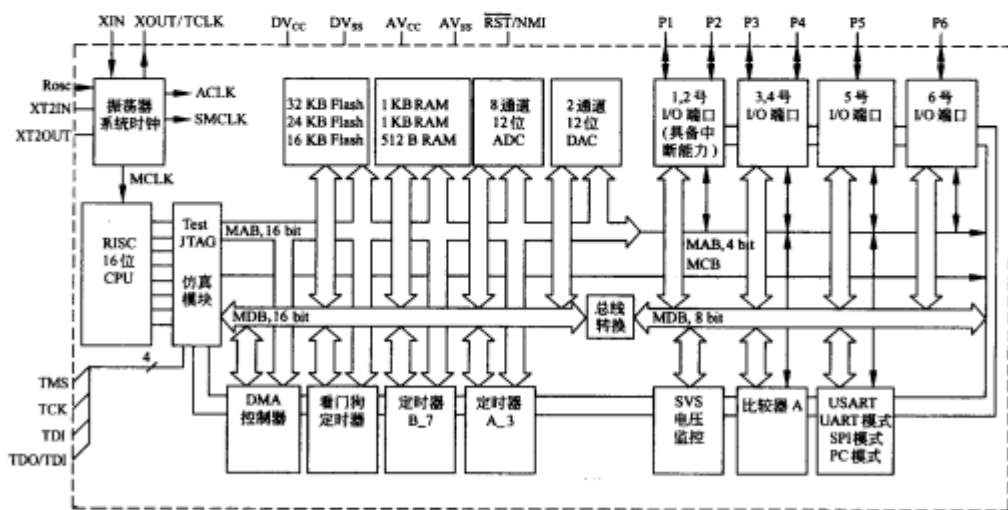


图 2-10 MSP430F15X 系列单片机结构

MSP430F15X 和 MSP430F16X 系列单片机特性和结构极为相似, 都是在 MSP430F14X 基础上增加了 DMA 控制器、I²C 模块、DAC 转换模块。MSP430F15X 和 MSP430F16X 的结构差别在于: MSP430F15X 片内只有一个 USART 模块, 没有硬件乘法器; 而 MSP430F16X 片内具有硬件乘法器和两个 USART 模块。

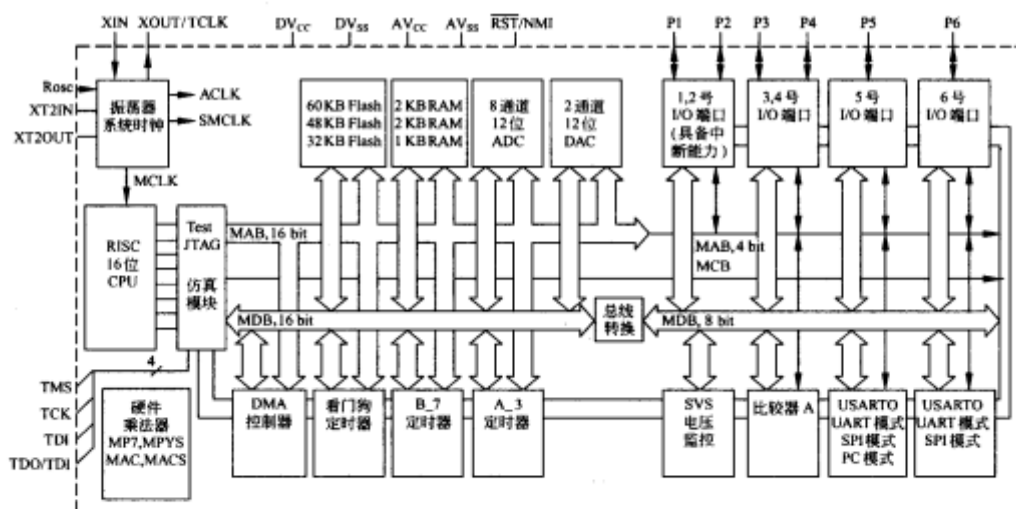


图 2-11 MSP430F16X 系列单片机结构

(3) 引脚

MSP430F15X/F16X 系列单片机的引脚如图 2-12 所示。

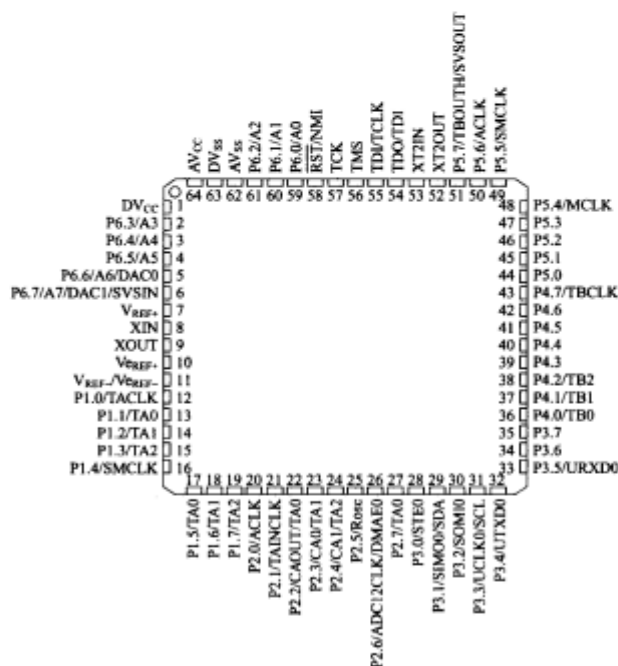


图 2-12 MSP430F15X/F16X 系列单片机引脚

MSP430F15X/F16X 系列单片机引脚说明如表 2-5 所示。

表 2-5 MSP430F15X/F16X 系列单片机引脚说明

引 脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
AVcc	64		模拟电源正端, 只为 ADC 和 DAC 的模拟部分供电
AVss	62		模拟电源负端, 只为 ADC 和 DAC 的模拟部分供电
DVcc	1		数字电源正端, 为所有数字部分供电
DVss	63		数字电源负端, 为所有数字部分供电
P1.0/TACLK	12	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A 时钟信号 TACLK 输入端
P1.1/TA0	13	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A 捕获: CCI0A 输入, 比较: OUT 输出, BSL 发送
P1.2/TA1	14	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A 捕获: CCI1A 输入, 比较: OUT1 输出
P1.3/TA2	15	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A 捕获: CCI2A 输入, 比较: OUT2 输出
P1.4/SMCLK	16	I/O	通用数字 I/O 引脚/SMCLK 信号输出
P1.5/TA0	17	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A, 比较: OUT0 输出
P1.6/TA1	18	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A, 比较: OUT1 输出
P1.7/TA2	19	I/O	通用数字 I/O 引脚/比较器 A, 比较: OUT2 输出
P2.0/ACLK	20	I/O	通用数字 I/O 引脚/ACLK 输出
P2.1/TAINCLK	21	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A, INCLK 上的时钟信号
P2.2/CAOUT/TA0	22	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A 捕获: CCI0B 输入/比较器输出
P2.3/CA0/TA1	23	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A, 比较: OUT1 输出/比较器 A 输入
P2.4/CA1/TA2	24	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A, 比较: OUT2 输出/比较器 A 输入
P2.5/Rosc	25	I/O	通用数字 I/O 引脚/定义 DCO 标称频率的外部电阻输入
P2.6/ADC12CLK/DMAE0	26	I/O	通用数字 I/O 引脚/转换时钟—12 为 ADC, DMA 通道 0 外部触发器
P2.7/TA0	27	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A 比较: OUT0 输出
P3.0/STE0	28	I/O	通用数字 I/O 引脚, USART0/SPI 模式从设备传输使能端
P3.1/SIMO0/DSDA	29	I/O	通用数字 I/O 引脚, USART0/SPI 模式的从入/主出, IIC 数据
P3.2/SOMI0	30	I/O	通用数字 I/O 引脚, USART0/SPI 模式的从出/主入

续表

引 脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
P3.3/UCLK0/SCL	31	I/O	通用数字 I/O 引脚, USART0/SPI 模式的外部时钟输入, IIC 时钟输出
P3.4/UTXD0	32	I/O	通用数字 I/O 引脚, USART0/SPI 模式的传输数据输出
P3.5/URXD0	33	I/O	通用数字 I/O 引脚, USART0/SPI 模式的接收数据输入
P3.6	34	I/O	通用数字 I/O 引脚, USI1/UART 模式的接收数据输入
P3.7	35	I/O	通用数字 I/O 引脚, USI1/UART 模式的发送数据输出
P4.0/TB0	36	I/O	通用数字 I/O 引脚, 捕获 I/P 或者 PWM 输出端口——定时器 B7 CCR0
P4.1/TB1	37	I/O	通用数字 I/O 引脚, 捕获 I/P 或者 PWM 输出端口——定时器 B7 CCR1
P4.2/TB2	38	I/O	通用数字 I/O 引脚, 捕获 I/P 或者 PWM 输出端口——定时器 B7 CCR2
P4.3	39	I/O	通用数字 I/O 引脚, 捕获 I/P 或者 PWM 输出端口——定时器 B7 CCR3
P4.4	40	I/O	通用数字 I/O 引脚, 捕获 I/P 或者 PWM 输出端口——定时器 B7 CCR4
P4.5	41	I/O	通用数字 I/O 引脚, 捕获 I/P 或者 PWM 输出端口——定时器 B7 CCR5
P4.6	42	I/O	通用数字 I/O 引脚, 捕获 I/P 或者 PWM 输出端口——定时器 B7 CCR6
P4.7/TBCLK	43	I/O	通用数字 I/O 引脚, 输入时钟 TBCLK——定时器 B7
P5.0	44	I/O	通用数字 I/O 引脚, USART1/SPI 模式从设备传输使能端
P5.1 /s1mo	45	I/O	通用数字 I/O 引脚, USART1/SPI 模式的从输入/主输出
P5.2 /som1	46	I/O	通用数字 I/O 引脚, USART1/SPI 模式的从输出/主输入
P5.3 /uclk	47	I/O	通用数字 I/O 引脚, USART1/SPI 模式的外部时钟输入, USART0/SPI 模式的时钟输入
P5.4/MCLK	48	I/O	通用数字 I/O 引脚, 主系统时钟输入
P5.5/SMCLK	49	I/O	通用数字 I/O 引脚, 子系统时钟输出
P5.6/ACLK	50	I/O	通用数字 I/O 引脚, 辅助时钟输出
P5.7/TBOUTH/SVSOUT	51	I/O	通用数字 I/O 引脚, 将所有 PWM 数字输出端口为高阻态——定时器 B7, SVS 比较输出

续表

引 脚		I/O	说 明
名 称	序 号		
P6.0/A0	59	I/O	通用数字 I/O 引脚, 模拟输入 A0——12 位 ADC
P6.1/A1	60	I/O	通用数字 I/O 引脚, 模拟输入 A1——12 位 ADC
P6.2/A2	61	I/O	通用数字 I/O 引脚, 模拟输入 A2——12 位 ADC
P6.3/A3	2	I/O	通用数字 I/O 引脚, 模拟输入 A3——12 位 ADC
P6.4/A4	3	I/O	通用数字 I/O 引脚, 模拟输入 A4——12 位 ADC
P6.5/A5	4	I/O	通用数字 I/O 引脚, 模拟输入 A5——12 位 ADC
P6.6/A6/DAC0	5	I/O	通用数字 I/O 引脚, 模拟输入 A5——12 位 ADC, DAC0 输出
P6.7/A7/DAC1	6	I/O	通用数字 I/O 引脚, 模拟输入 A5——12 位 ADC, DAC1 输入, SVS 输入
$\overline{\text{RST}}/\text{NMI}$	58	I	复位输入, 非屏蔽中断输入或者 Bootstrap Load 启动 (BSL 方式)
TCK	57	I	测试时钟, TCK 使芯片编程测试和 Bootstrap Loader 启动的时钟输入端口
TDI/TCLK	55	I	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	54	I/O	测试数据输出, TDO/TDI 数据输入或者编程数据输出引脚
TMS	56	I	测试模式选择, TMS 用作芯片编程和测试的输入端口
$V_{\text{REF+}}$	10	I	外部参考电压输入
$V_{\text{REF+}}$	7	O	内部参考电压的正输出引脚
$V_{\text{REF-}}/V_{\text{REF-}}$	11	O	内部参考电压或者外加参考电压的引脚
XIN	8	I	晶振 XT1 的输入端口
XOUT	9	I/O	晶振 XT1 的输出端口
XT2IN	53	I	晶振 XT2 的输入
XT2OUT	52	O	晶振 XT2 输出

2.2.2 带 LCD 驱动系列产品

片内具有段式液晶驱动模块的产品主要是 MSP430X3XX 系列和 MSP430X4XX 系列, 其中 MSP430X3XX 系列单片机是 TI 最早推出的产品, 该系列产品虽然片内外设丰富, 但没有 FLASH 型, 且价格较高, 对于一般应用来说, 性价比低于 MSP430X1XX 系列。而 MSP430X4XX 系列既具有某些 MSP430X1XX 系列具有的 FLASH 存储器, 又增加了段式液晶驱动能力, 片内外设资源同 MSP430X3XX 系列一样丰富。所以 MSP430X4XX 在系统设计、开发调试及实际应用上都表现出较明显的优势。下面详细介绍 MSP430X4XX 系列。

MSP430X4XX 系列又可细化为 MSP430X41X 系列、MSP430X43X 系列和 MSP430X44X 系列。这些系列产品绝大多数都是 FLASH 型。

1. MSP430X41X 系列

(1) 特点

- 低工作电压：1.8~3.6V。
- 超低功耗：
 - 活动模式 200 μ A @1MHz, 2.2V;
 - 待机模式 0.7 μ A。
- 掉电模式（RAM 数据保持）：0.1 μ A。
- 有 5 种节电模式。
- 从待机到唤醒的响应时间不超过 6 μ s。
- 片内频率锁相环 FLL+，可使系统工作在稳定的频率上。
- 16 位精简指令结构（RISC），125ns 指令周期。
- 具有 3 个捕获/比较寄存器的 16 位定时器。
- 集成 96 段液晶驱动器。
- 片内比较器配合其他器件可构成单斜边 A/D 转换器。
- 可在线串行编程。
- 可编程的保密熔丝保护设计者代码。
- FLASH 存储器。
- 该系列目前有 4 个器件：MSP430C412, MSP430C413, MSP430F412, MSP430F413

(2) 结构

MSP430X41X 单片机结构如图 2-13 所示。

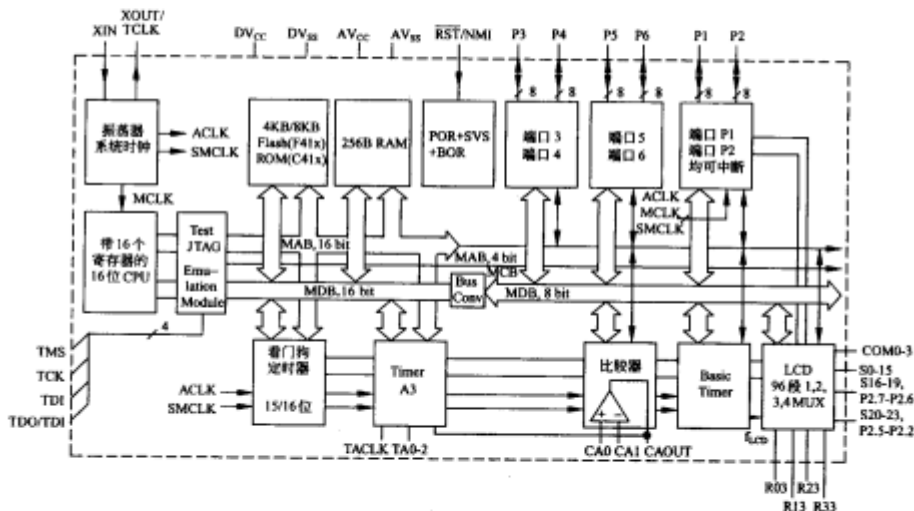


图 2-13 MSP430X41X 系列单片机结构

(3) 引脚

MSP430X41X 系列单片机的引脚如图 2-14 所示。该系列器件的引脚说明如表 2-6 所示。