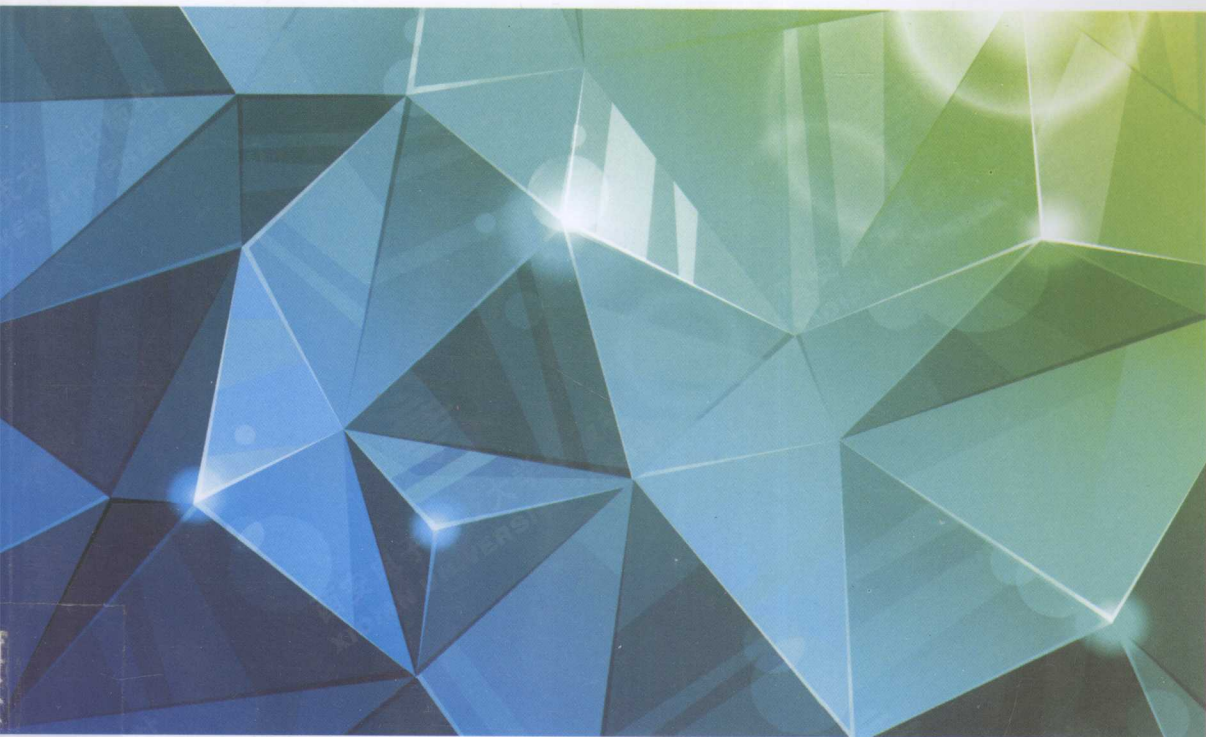




应用型本科 电子及通信工程专业“十二五”规划教材

# 基于MSP430 单片机原理及应用

卞晓晓 花怀海 编著  
孙肖林 王 芳 季秀霞



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

应用型本科 电子及通信工程专业“十二五”规划教材

# 基于 MSP430 单片机原理及应用

卞晓晓 花怀海  
孙肖林 王 芳 季秀霞 编著

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书以理论教学为引导,以工程实践能力培养为主线,主要内容包括MSP430x16x单片机的硬件结构和工作原理、指令系统及其集成软件开发环境、片内及片外模块介绍及其应用、硬件实验板制作步骤以及MSP430单片机应用系统详细设计。本书的实例来源于作者的教学实践,涉及的知识面广,内容丰富。随书电子资源可登录出版社网站下载,也可扫描封底二维码关注“MSP430单片机原理及应用”微信公众号获取。

本书可作为高等学校电类专业单片机课程、大学生创新实践及电子竞赛培训的教材,也适合作为单片机初学者以及使用MSP430单片机进行项目开发的技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

基于MSP430单片机原理及应用/卞晓晓等编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2015.11

应用型本科机械类专业“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3743 - 3

I. ①基… II. ①卞… III. ①单片微型计算机-高等学校-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第236436号

策划编辑 马乐惠

责任编辑 马乐惠 郭 魁

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2015年11月第1版 2015年11月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 22

字 数 522千字

印 数 1~3000册

定 价 39.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3743 - 3/TP

**XDUP 4035001 - 1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

# 前 言

美国德州仪器(TI)公司推出的 MSP430 系列单片机具有超低的功耗、丰富的片内外资源、16 位 RISC 处理器、先进的 JTAG 调试和软件集成开发环境(IAR 的 EW430 或 TI 的 CCSv5.5)及高效等特点,在手持设备和电池供电设备越来越多的当下,获得了广泛的应用。很多高校已经开始选用 MSP430 系列单片机进行单片机课程的教学。

本书以理论教学为引导,以实践能力培养为主线,具体内容安排为:第一章介绍 MSP430x16x 单片机硬件结构和工作原理;第二章介绍 MSP430 单片机指令系统、程序设计以及集成软件开发环境;第三章介绍 MSP430 单片机片内及片外模块;第四章介绍 MSP430 单片机实验板制作,包括 MSP430 单片机硬件设计与接口技术,详细介绍 DIY 硬件实验板的步骤;第五章介绍 MSP430 单片机片内及片外模块的应用,包括通用 I/O 接口、中断系统、定时器、串行通信模块、比较器、ADC 模块、DAC 模块、LCD 显示模块等;第六章介绍 MSP430 单片机应用系统设计,包括单片机系统设计的一般步骤和具体实例。MSP430 指令速查表、MSP430x16x 模块空间分配以及 MSP430x16x 头文件等内容放入本书的电子资源中,教师可以根据需要有选择地将其融入课堂教学中,也可以留作课外阅读。

本书编者在多年的单片机教学实践以及指导学生竞赛中感受到,学习单片机,不仅需要掌握单片机的硬件结构、指令集和编程方法,更重要的是学习如何使用单片机,用单片机来解决问题。因此本书主要篇幅放在 MSP430F169 单片机的硬件设计和基于 C 语言的应用实例上。

本书配套一款 MSP430F169 口袋实验板,包括 MSP430F169 最小系统板、两块迷你扩展板、一块底板。读者只需一台 PC 和实验板就可以学习,所有实验都可以脱离实验室完成。书中的例程均以配套的口袋实验板实验现象为依据,帮助读者从实际应用中彻底理解和掌握单片机。最小系统板与扩展板也可以作为独立模块,进行二次开发。

书中配有完整的源程序,所有的源程序都在实验板上测试通过。需要硬件实验板的读者可以与出版社联系,也可以根据书中第四章的内容自行设计。源程序、实验板原理图、PCB 图、实验视频教程作为随书电子资源,读者可登录出版社网站下载,也可以扫描封底二维码关注“MSP430 单片机原理及应用”微信公众号获取。

本书由南京航空航天大学金城学院卞晓晓老师,三江学院花怀海老师、孙肖林老师、王芳老师和南京航空航天大学金城学院季秀霞老师共同编写。南京航空航天大学金城学院创新实验室陈平、李凡、方为建、张重阳、卢俊峰、李广敏、陆城胜同学对本书的出版做出了重要的贡献,在此表示衷心感谢。同时感谢西安电子科技大学出版社的大力支持。

最后,对本书参考文献中的作者们表示感谢!

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请各位读者和同行指正。

作 者

2015 年 5 月

# 目 录

<b>第一章 MSP430 单片机概述</b> .....	1	<b>2.4 MSP430 C 语言扩展特性</b> .....	39
1.1 MSP430 单片机的特点 .....	1	2.4.1 MSP430 C 语言扩展特性 .....	39
1.2 MSP430 系列单片机的分类 .....	2	2.4.2 MSP430 C 语言扩展关键字 .....	40
1.3 MSP430x16x 硬件结构概述 .....	2	2.4.3 MSP430 #pragma 编译命令 .....	43
1.4 MSP430x16x 的重要特性和外部引脚 .....	3	2.4.4 MSP430 的预定义符号 .....	47
1.5 MSP430x16x 的时钟模块与低功耗 .....	7	2.4.5 MSP430 的本征函数 .....	48
<b>第二章 MSP430 单片机指令系统与程序设计</b> .....	11	2.4.6 MSP430 的段定义 .....	51
2.1 寻址模式 .....	11	2.5 MSP430 开发工具简介 .....	53
2.1.1 寄存器寻址模式 .....	11	2.5.1 IAR Embedded Workbench 的安装 .....	53
2.1.2 变址寻址模式 .....	12	2.5.2 IAR Embedded Workbench 的使用方法 .....	55
2.1.3 符号寻址模式 .....	13	2.6 CCSv5.5 软件开发环境 .....	60
2.1.4 绝对寻址模式 .....	13	2.6.1 CCSv5.5 概述 .....	60
2.1.5 间接寻址模式 .....	14	2.6.2 CCSv5.5 的安装 .....	60
2.1.6 间接增量寻址模式 .....	15	2.6.3 启动 CCSv5.5 .....	62
2.1.7 立即数寻址模式 .....	16	2.6.4 CCSv5.5 工程开发 .....	63
2.2 汇编指令系统 .....	17	2.6.5 CCSv5.5 资源管理器介绍 .....	65
2.2.1 双操作数指令 .....	17	2.6.6 MSP430ware 使用指南 .....	66
2.2.2 单操作数指令 .....	18	<b>第三章 MSP430 单片机片内及片外模块</b> .....	68
2.2.3 程序流控制——跳转 .....	19	3.1 通用 I/O 端口 .....	68
2.2.4 仿真指令 .....	20	3.1.1 端口 P1 和 P2 .....	69
2.3 C 语言程序设计 .....	22	3.1.2 端口 P3、P4、P5 和 P6 .....	69
2.3.1 标识符与关键字 .....	22	3.1.3 端口应用 .....	70
2.3.2 数据类型 .....	24	3.2 中断系统 .....	70
2.3.3 运算符 .....	26	3.2.1 中断分类 .....	70
2.3.4 函数 .....	29	3.2.2 中断向量表 .....	72
2.3.5 数组 .....	30	3.2.3 中断相关寄存器的设置 .....	73
2.3.6 指针 .....	31	3.2.4 中断的优先级别 .....	75
2.3.7 位运算 .....	32	3.2.5 中断的处理过程 .....	76
2.3.8 存储寄存器 .....	32	3.2.6 可屏蔽中断程序设计 .....	77
2.3.9 预处理 .....	33		
2.3.10 程序的基本结构 .....	35		

3.3 定时器 .....	79	4.2.4 实验板布局 .....	150
3.3.1 看门狗定时器 .....	79	4.3 MSP430 单片机开发板整机原理图及 PCB 版图 .....	152
3.3.2 16 位定时器 A .....	81	<b>第五章 MSP430 单片机片内及 片外模块的应用</b> .....	157
3.4 通用串行通信模块 .....	89	5.1 通用 I/O 接口的应用 .....	158
3.4.1 通信系统简介 .....	89	5.1.1 发光二极管显示模块 .....	158
3.4.2 MSP430 单片机的串行通信功能 .....	90	5.1.2 数码管显示模块 .....	161
3.4.3 USART 模块 .....	91	5.1.3 LED8×8 点阵显示模块 .....	167
3.4.4 USCI 模块 .....	98	5.1.4 按键模块 .....	178
3.5 串行外设接口协议 SPI 模式 .....	100	5.2 中断系统应用 .....	183
3.5.1 SPI 概述 .....	100	5.2.1 外部中断 .....	183
3.5.2 SPI 模式操作 .....	100	5.2.2 内部中断 .....	186
3.5.3 SPI 模块寄存器 .....	104	5.2.3 中断总结 .....	189
3.6 内部集成电路协议 I <sup>2</sup> C 模式 .....	106	5.3 定时器模块的应用 .....	189
3.6.1 I <sup>2</sup> C 概述 .....	106	5.4 通用串行数据总线 UART 通信 .....	195
3.6.2 I <sup>2</sup> C 操作模式 .....	108	5.5 SPI 通信 .....	199
3.6.3 I <sup>2</sup> C 模块寄存器 .....	113	5.6 I <sup>2</sup> C 通信 .....	207
3.7 比较器 A .....	118	5.7 比较器模块的应用 .....	213
3.8 MSP430 模/数转换模块 .....	118	5.8 ADC12 .....	216
3.8.1 ADC12 模块硬件介绍 .....	119	5.9 DAC12 .....	220
3.8.2 ADC12 的寄存器 .....	120	5.10 LCD 显示 .....	223
3.8.3 ADC12 转换模式及设置举例 .....	125	5.10.1 LCD12864 概述 .....	223
3.9 MSP430 数/模转换模块 .....	128	5.10.2 SYN12864K-ZK 模块接口说明 .....	223
3.9.1 DAC12 模块硬件介绍 .....	128	5.10.3 模块主要硬件构成说明 .....	224
3.9.2 DAC12 的寄存器 .....	129	5.10.4 指令说明 .....	225
3.9.3 DAC12 的操作 .....	131	5.10.5 LCD12864 液晶 8 位并行数据 传输时序 .....	227
3.9.4 DAC12 的设置和应用 .....	133	5.10.6 LCD12864 液晶显示代码设计 .....	229
<b>第四章 MSP430 单片机口袋实验板制作</b> .....	134	5.11 其他模块应用举例 .....	243
4.1 Altium Designer 软件简介 .....	134	5.11.1 DS18B20 数字温度计 .....	243
4.1.1 Altium Designer 设计环境 .....	134	5.11.2 DS1302 电子万年历 .....	249
4.1.2 PCB 工程文件、原理图文件以及 PCB 文件的创建 .....	134	<b>第六章 MSP430 应用系统设计</b> .....	258
4.1.3 集成库的制作 .....	136	6.1 单片机嵌入式系统设计 .....	258
4.2 MSP430 口袋实验板结构 .....	137		
4.2.1 MSP430F169 最小系统板 .....	137		
4.2.2 仿真下载电路 .....	140		
4.2.3 功能模块电路 .....	142		

6.1.1 单片机嵌入式系统开发基础知识	258	6.3 基于 MSP430F169 的 GPS	290
.....		定位器的设计.....	
6.1.2 单片机嵌入式系统设计流程.....	259	6.3.1 GPS 定位原理 .....	290
6.2 基于 MSP430F169 的嵌入式以太网		6.3.2 GPS 接收模块主要性能指标 .....	291
远程网络温湿度监控系统.....	262	6.3.3 DP310 接口说明.....	291
6.2.1 单片机选择.....	263	6.3.4 输出数据格式.....	292
6.2.2 AM2301 数字温湿度传感器简介		6.3.5 控制器的选择.....	293
.....	263	6.3.6 硬件电路的设计.....	293
6.2.3 AM2301 单总线通信 .....	264	6.3.7 GPS 定位器软件设计 .....	294
6.2.4 LCD12864 模块 .....	265	6.3.8 GPS 定位器软硬系统调试步骤 .....	297
6.2.5 网络模块的选择和简介.....	266	6.4 基于 MSP430 单片机的音频	
6.2.6 CS8900A 以太网 Server 的硬件		频谱显示器.....	324
结构.....	268	6.4.1 FFT 算法概述 .....	324
6.2.7 各硬件电路设计.....	268	6.4.2 音乐中频段的划分.....	325
6.2.8 系统软件设计.....	271	6.5 基于 MSP430 的俄罗斯方块游戏机	
6.2.9 上位机的设计.....	278	.....	333
6.2.10 软硬系统调试 .....	280	6.5.1 系统硬件结构.....	333
6.2.11 整机系统测试 .....	280	6.5.2 系统软件结构.....	334
6.2.12 小结 .....	290	参考文献 .....	343



# 第一章 MSP430 单片机概述

## 1.1 MSP430 单片机的特点

MSP430 系列单片机是美国德州仪器(Texas Instruments, TI)于 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)。TI 公司借助其在混合信号与数字技术方面处于领先的丰富经验构建了 MSP430。MSP430 主要有以下几个特点:

(1) 超低功耗。MSP430 系列单片机的电源电压采用 1.8~3.6 V 的低电压,具有 5 种低功耗模式,可实现超低功耗性能。RAM 数据保持方式下耗电仅为 0.1  $\mu\text{A}$ ,活动模式下耗电为 250  $\mu\text{A}/\text{MIPS}$ (MIPS: 每秒百万条指令数)。

(2) 强大的运算处理能力。MSP430 系列单片机是 16 位单片机,采用了 RISC(Reduced Instruction Set Computer, 精简指令集计算机)结构,一个时钟周期可以执行一条指令,使 MSP430 在 8 MHz 晶振工作时,指令速度可达 8 MIPS。

(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、高精度的模/数转换器(ADC),有很高的转换速率,最高可达 200 kS/s,适用于大多数数据采集的场合。系列中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,10/12/14 位 ADC,12 位 DAC, I<sup>2</sup>C 总线,直接数据存取(DMA),端口 0(P0),端口 1~6(P1~P6),基本定时器(Basic Timer)等。

(4) 高效方便的开发环境。目前 MSP430 系列有 OTP 型、Flash 型和 ROM 型三种类型的器件,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,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 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 v5.30 和 CCS v5.5。

(5) 系统工作稳定。系统上电复位后,由 DCOCLK 启动 CPU,以保证系统从正确的位置开始执行。随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作 CPU 时钟 MCLK 时发生故障,DCO 振荡器会自动启动系统当中的 DCO,以保证系统正常工作。



## 1.2 MSP430 系列单片机的分类

MSP430 系列单片机的种类很多,因而设计人员可以根据具体的应用来选择不同的单片机,获得最佳的性价比。这些系列有着相同的命名规则,规则如下:

MSP430 M<sub>i</sub> D<sub>a</sub> D<sub>b</sub> M<sub>c</sub>

其中, M<sub>i</sub> 表示内存的类型,具体如下:

C: ROM;

F: Flash;

P: OTP;

E: EEPROM;

U: USER。

D<sub>a</sub> D<sub>b</sub> 表示器件配置,具体如下:

10, 11: 基本型;

12, 13: 带硬件 UART;

14: 带硬件 UART、硬件乘法器;

31, 32: 带液晶驱动;

33: 带液晶驱动,带硬件 UART、硬件乘法器;

41: 带液晶驱动;

43: 带液晶驱动,带硬件 UART;

44: 带液晶驱动,带硬件 UART、硬件乘法器。

M<sub>c</sub> 表示内存容量,具体如下:

0: 1 KB 程序存储区, 128 字节数据存储区;

1: 2 KB 程序存储区, 128 字节数据存储区;

2: 4 KB 程序存储区, 256 字节数据存储区;

3: 8 KB 程序存储区, 256 字节数据存储区;

4: 12 KB 程序存储区, 512 字节数据存储区;

5: 16 KB 程序存储区, 512 字节数据存储区;

6: 24 KB 程序存储区, 1 KB 字节数据存储区;

7: 32 KB 程序存储区, 1 KB 字节数据存储区;

8: 48 KB 程序存储区, 2 KB 字节数据存储区;

9: 60 KB 程序存储区, 2 KB 字节数据存储区。

上述命名规则中,并没有把模/数转换、定时器和封装等包括进来,如要选择单片机以满足工程的需要,可登录 TI 官方网站查找各种单片机的精确配置。

## 1.3 MSP430x16x 硬件结构概述

MSP430 采用了 RISC 结构,主要包含 16 位的 RISC CPU、存储器、外围模块、灵活的时钟系统以及连接它们的数据总线和地址总线,如图 1-1 所示。

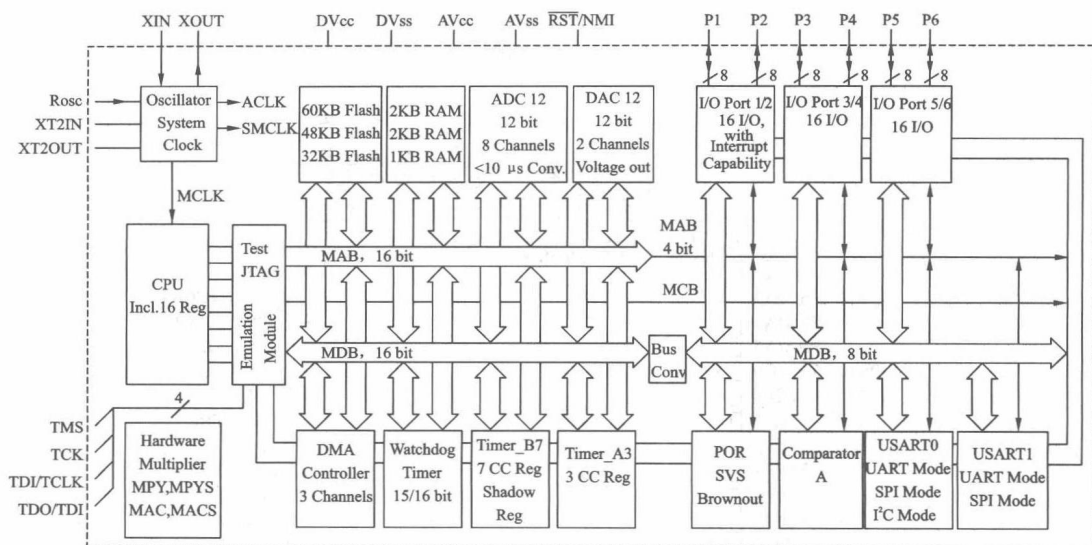


图 1-1 MSP430x16x 硬件结构

## 1.4 MSP430x16x 的重要特性和外部引脚

### 1. MSP430x16x 的重要特性

MSP430x16x 的主要特性如下：

★低电压工作范围 1.8~3.6 V，超低功耗。

——活动模式：在 1 MHz 为 330  $\mu$ A，2.2 V。

——待机模式：1.1  $\mu$ A。

——掉电模式：(RAM 数据保持)0.2  $\mu$ A。

★具有五种省电模式。

★从待机到唤醒模式响应时间不超过 6  $\mu$ s。

★16 位精简指令系统的指令周期为 125 ns。

★有高速晶体(8 MHz)、低速晶体(32 kHz)、数字控制振荡器 DCO。

★有 12 位 200 kS/s 的 A/D 转换器。

★有内部温度传感器。

★有 16 位定时器 Timer\_A、Timer\_B(各具有 3 个捕获/比较寄存器)。

★两通道串行通信接口可用于异步或同步模式。

★有 6 个 8 位并行端口，且其中 2 个 8 位端口有中断能力。

★自带硬件乘法器。

★能够串行在线系统编程。

★具有保密熔丝的程序代码保护。

### 2. MSP430x16x 的引脚功能

MSP430x16x 共有 64 个引脚，其引脚分布如图 1-2 所示。

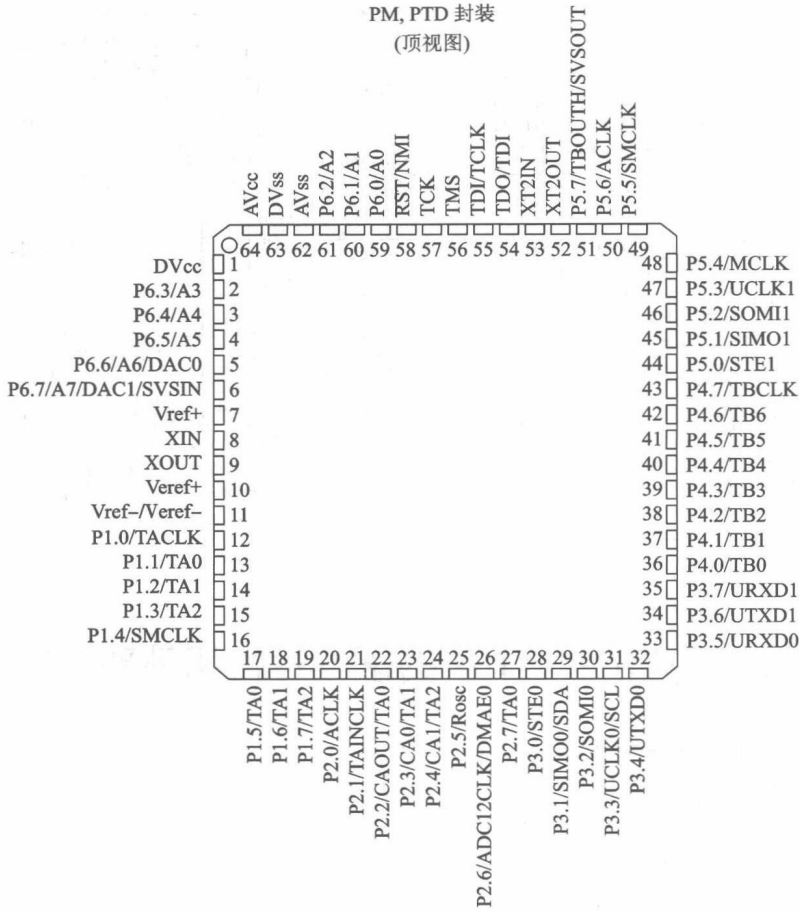


图 1-2 MSP430x16x 系列单片机引脚图

MSP430 单片机片内资源丰富，需要众多的引脚，受芯片引脚数限制，很多引脚具有复用功能。引脚的具体说明如表 1-1 所示。

表 1-1 MSP430x16x 系列单片机引脚说明

引脚名称	引脚序号	I/O	说明
AVcc	64		模拟供电电源正端，只为 ADC 和 DAC 的模拟部分供电
AVss	62		模拟供电电源负端，只为 ADC 和 DAC 的模拟部分供电
DVcc	1		数字供电电源正端，为所有数字部分供电
DVss	63		数字供电电源负端，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
P1.1/TA0	13	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A 捕捉：CCI0A 输入，比较：OUT0 输出
P1.2/TA1	14	I/O	通用数字 I/O 引脚/定时器 A 捕捉：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 捕捉：CCI2A 输入，比较：OUT2 输出

续表一

引脚名称	引脚序号	I/O	说明
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/定时器 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	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	I/O 通用数字 I/O 引脚, 转换时钟——12 位 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/SDA	29	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART0/SPI 模式的从入/主出, I <sup>2</sup> C 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
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, USART0
P3.4/UTXD0	32	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART0/UART 模式的传输数据输出
P3.5/URXD0	33	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART0/UART 模式的接收数据输入
P3.6/UTXD1	34	I/O	通用数字 I/O 引脚/US11/UART 模式的发送数据输出
P3.7/URXD1	35	I/O	通用数字 I/O 引脚/US11/UART 模式的接收数据输入
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/TB3	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/TB4	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/TB5	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/TB6	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

续表二

引脚名称	引脚序号	I/O	说明
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/STE1	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/SIMO1	45	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART1/SPI 模式的从入/主出
P5.2/SOMI1	46	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART1/SPI 模式的从出/主入
P5.3/UCLK1	47	I/O	通用数字 I/O 引脚/USART1/SPI 模式的外部时钟输入, USART0/SPI 模式的时钟输出
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/ 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
P6.0/A0	59	I/O	通用数字 I/O 引脚/模拟量输入 A0~12 位 ADC0
P6.1/A1	60	I/O	通用数字 I/O 引脚/模拟量输入 A1~12 位 ADC1
P6.2/A2	61	I/O	通用数字 I/O 引脚/模拟量输入 A2~12 位 ADC2
P6.3/A3	2	I/O	通用数字 I/O 引脚/模拟量输入 A3~12 位 ADC3
P6.4/A4	3	I/O	通用数字 I/O 引脚/模拟量输入 A4~12 位 ADC4
P6.5/A5	4	I/O	通用数字 I/O 引脚/模拟量输入 A5~12 位 ADC5
P6.6/A6/DAC0	5	I/O	通用数字 I/O 引脚/模拟量输入 A6~12 位 ADC6, DAC.0 输出
P6.7/A7/DAC1 /SVSIN	6	I/O	通用数字 I/O 引脚/模拟量输入 A7~12 位 ADC7, DAC.1 输出, SVS 输入
$\overline{\text{RST}}/\text{NMI}$	58	I	复位输入/不可屏蔽中断输入端口或者 Bootstrap Load 启动 (FLASH 版本有此功能)
TCK	57	I	测试时钟, TCK 是芯片编程测试和 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, 芯片保护熔丝连接到 TDI
TDO/TDI	54	I/O	测试数据输出端口, TDO/TDI 数据输出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
Veref+	10	I	外部参考电压的输入
Vref+	7	O	参考电压的正输出引脚
Vref-/Veref-	11	I	内部参考电压或者外加参考电压的引脚
XIN	8	I	晶体振荡器 XT1 的输入端口, 可连接标准晶振或者钟表晶振
XOUT	9	O	晶体振荡器 XT1 的输出引脚
XT2IN	53	I	晶体振荡器 XT2 的输入端口, 只能连接标准晶振
XT2OUT	52	O	晶体振荡器 XT2 的输出引脚

## 1.5 MSP430x16x 的时钟模块与低功耗

时钟模块对于单片机来说至关重要，它不仅给 CPU 提供正确的时序，还给单片机的外围模块提供工作时序。因此，一个高效稳定的时钟模块是单片机系统能够正常工作的基础。

### 1. MSP430x16x 系列单片机时钟模块

MSP430x16x 系列单片机的基础时钟模块结构如图 1-3 所示。

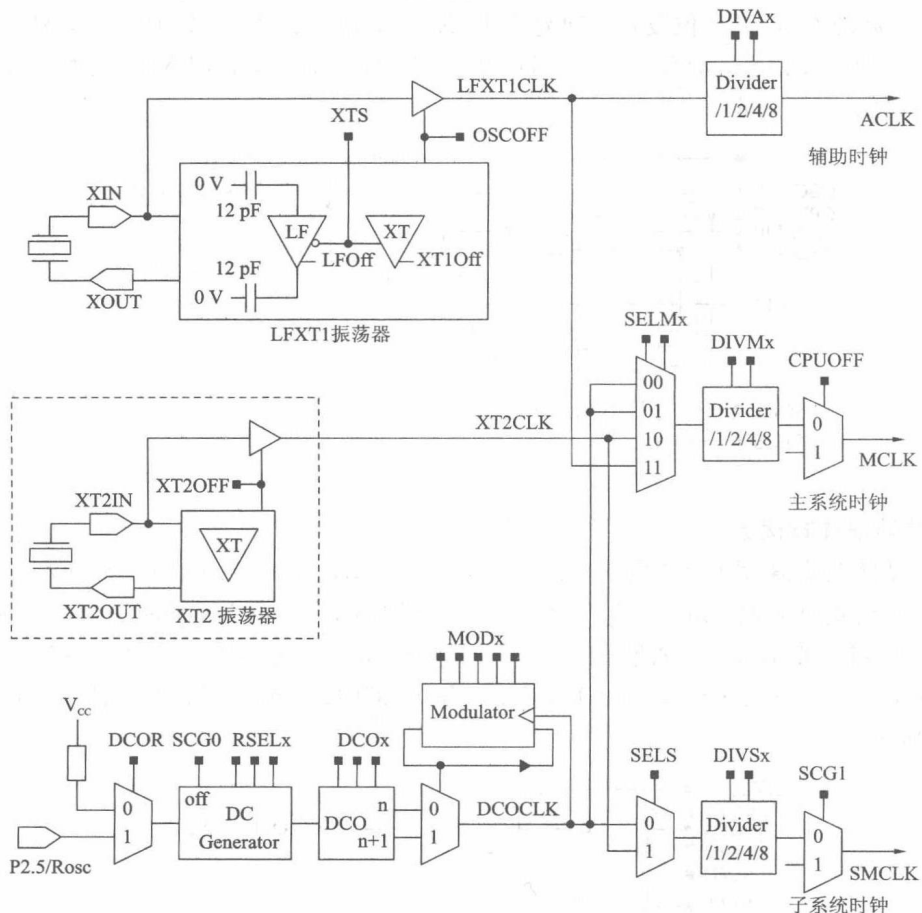


图 1-3 MSP430x16x 系列单片机的基础时钟模块结构

MSP430F169 基本时钟模块有三个时钟输入源 LFXT1CLK(低速为 32 768 Hz，高速为 450 Hz~8 MHz)、XT2CLK(450 Hz~8 MHz)、DCOCLK，可提供以下三种时钟信号：

★ ACLK 辅助时钟：由 LFXT1CLK 信号经 1、2、4、8 分频后得到，可以由软件选择各个外围模块的时钟信号，一般用于低速外设。

★ MCLK 系统主时钟：可由软件选择来自 LFXT1CLK、XT2CLK、DCOCLK 三者之一，然后经 1、2、4、8 分频得到，MCLK 主要用于 CPU 和系统。

★ SMCLK 子系统时钟：可由软件选自 LFXT1CLK 和 DCOCLK 或 XT2CLK 和 DCOCLK，然后经 1、2、4、8 分频得到，SMCLK 主要用于高速外围模块。

系统频率与系统的工作电压密切相关(MSP430 的工作电压为 1.8~3.6 V，编程电压

为 2.7~3.6 V)，所以不同的工作电压，需要选择不同的系统时钟。当两个外部振荡器失效时，DCO 振荡器会自动被选作 MCLK 的时钟源。上电复位(Power-Up-Clear, PUC)信号之后，DCOCLK 被自动选作 MCLK 和 SMCLK 的时钟信号，LFXT1CLK 被选作 ACLK 的时钟信号，根据需要 MCLK 和 SMCLK 的时钟源可以另外设置。

### 2. 低速晶体振荡器

MSP430 系列的单片机的每种产品都会有低速晶体振荡器(LFXT1)，通常外接 32 768 Hz 的手表晶振。LFXT1 振荡器在发生有效的 PUC 后开始工作，一次有效的 PUC 信号可以将 SR 寄存器的 OSCOFF 位复位，即允许 LFXT1 工作。如果 LFXT1CLK 信号没有用作 SMCLK 或 ACLK 信号，则可以用软件将 OSCOFF 位置位，禁止 LFXT1 工作。LFXT1 的控制逻辑如图 1-4 所示。

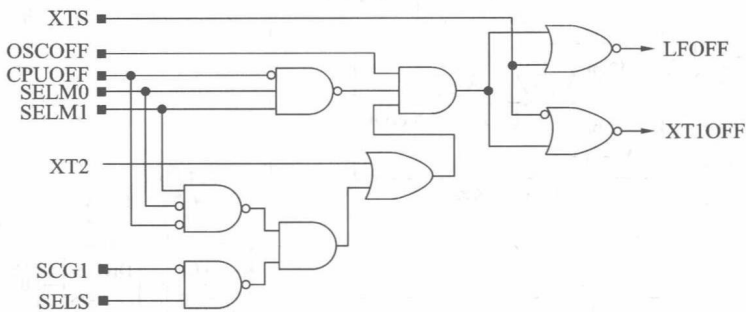


图 1-4 LFXT1 的控制逻辑图

### 3. 高速晶体振荡器

高速晶体振荡器(XT2)产生的时钟信号为 XT2CLK，它的工作特性与 LFXT1 振荡器工作在高频模式时类似。如果 XT2CLK 没有用作 MCLK、SMCLK 的时钟信号，则可以用 XT2OFF 控制位关闭 XT2；如果 CPUOFF=0，SELM=2，则 XT2CLK 用作 MCLK 时钟；如果 SCG1=0，且 SELS=1，则 XT2CLK 用作 SMCLK 时钟。XT2 振荡器的控制逻辑如图 1-5 所示。

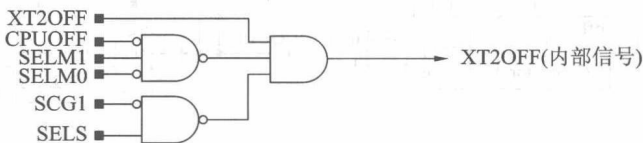


图 1-5 XT2 振荡器控制逻辑图

### 4. DCO 振荡器

MSP430 系列的单片机外部振荡器产生的时钟信号都可以经 1、2、4、8 分频后用作系统的 MCLK。当上电复位或者振荡器失效的时候，DCO 振荡器会自动被选作 MCLK 的时钟源，频率在 800 kHz 左右。

DCO 的工作可以不要外部器件的支持，因此降低了电路的复杂程度，但是它基于 RC 的工作原理，工作频率不稳定，DCO 振荡器的频率会随着温度和工作电压的变化而变化，而 DCO 频率可通过 DCO、MOD、Rsel 等控制位用软件调节，这又增加了 DCO 振荡器的稳定性。当 DCO 振荡器没有用作 MCLK 和 SMCLK 时钟信号时，可以通过软件关闭直流发生器，直流发生器消耗的电流定义了 DCOCLK 的基本频率。DCO 控制逻辑如图 1-6 所示。



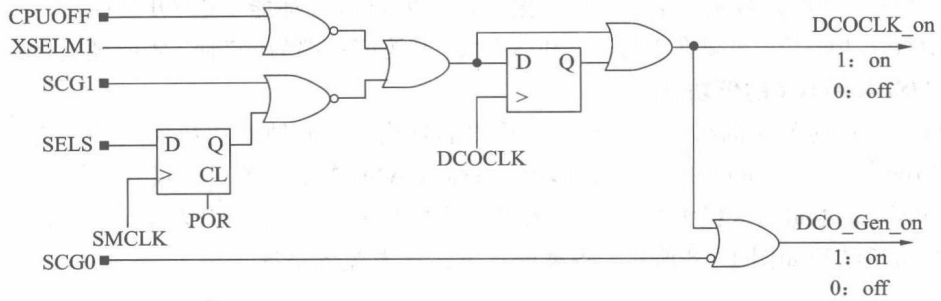
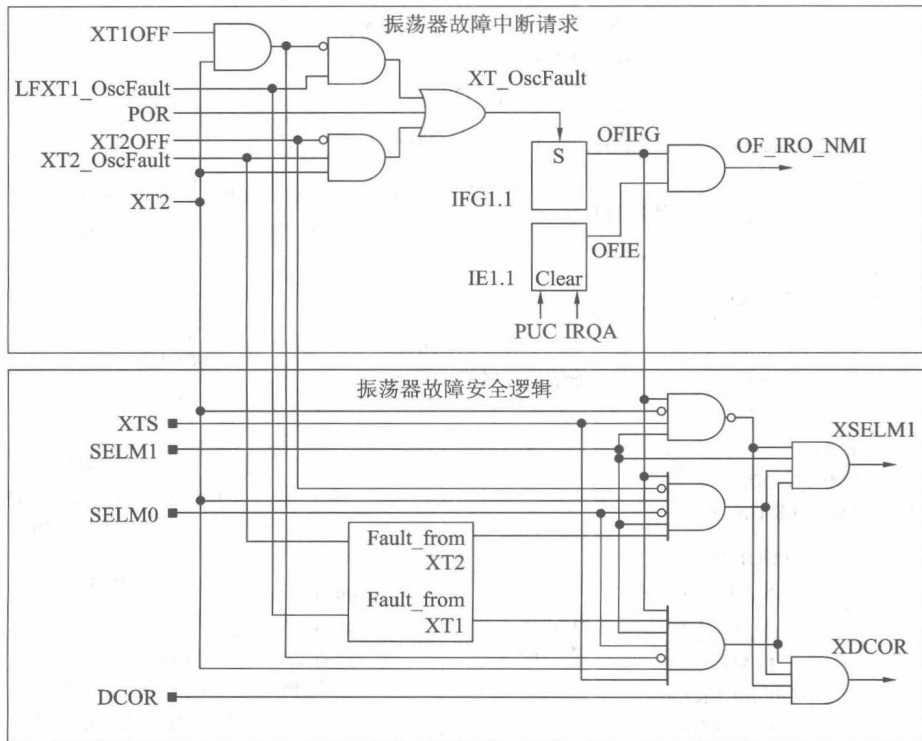


图 1-6 DCO 控制逻辑图

### 5. 振荡器失效检测

MSP430 内部含有晶体振荡器失效监测电路，用来监测 LFXT1(工作在高频模式)和 XT2 输出的时钟信号。当时钟信号丢失 50  $\mu$ s 时，监测电路即可捕捉到振荡器失效。如果 MCLK 信号来自 LFXT1 或者 XT2，那么 MSP430 会自动把 MCLK 的信号切换为 DCO，这样可以保证程序继续运行。但 MSP430 不对工作在低频模式的 LFXT1 进行监测。

振荡器失效会导致振荡器失效标志位 OFIFG 置位，如果此时振荡器失效中断允许位 (OFIE)置位，则产生非屏蔽中断请求。OFIFG 必须由用户软件来清除。振荡器失效中断逻辑如图 1-7 所示。



XT2是内部信号。XT2=0是指不包含XT2信号的器件(MSP430x11xx, MSP430x12xx)  
 XT2=1是指包含XT2信号的器件(MSP430F13x, MSP430F14x, MSP430F15x, MSP430F16x)  
 IRQA: 接受中断请求  
 LFXT1\_OscFault: 只适用于LFXT1振荡器工作在高频模式

图 1-7 振荡器失效中断逻辑图

XT2 振荡器的失效信号和 LFXT1 振荡器的失效信号都能引起 OFIFG 中断标志。振荡器失效标志 OFIFG 必须在 LFXT1 和 XT2 的失效信号都为“0”时，才能被软件复位。

### 6. MSP430x16x 的低功耗结构

MSP430 系列单片机在低功耗方面表现得非常优秀。五种低功耗模式分别为 LPM0~LPM4(Low Power Mode)，CPU 的活动状态称为 AM(Active Mode)模式。其中 AM 耗电最大，LPM4 耗电最省，仅为 0.1  $\mu$ A。另外工作电压对功耗的影响为：电压越低，功耗也越低。低功耗结构如图 1-8 所示。各种模式下消耗电流的情况如图 1-9 所示。

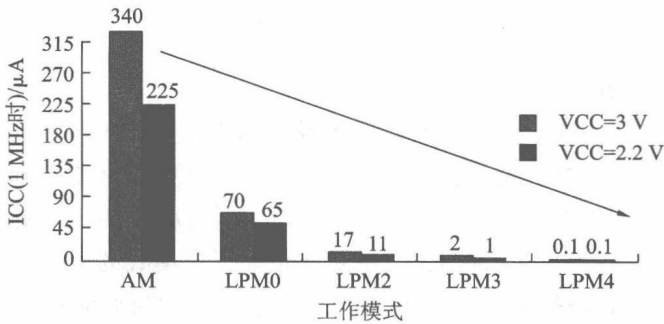


图 1-8 低功耗结构图



图 1-9 各种模式下消耗电流的情况