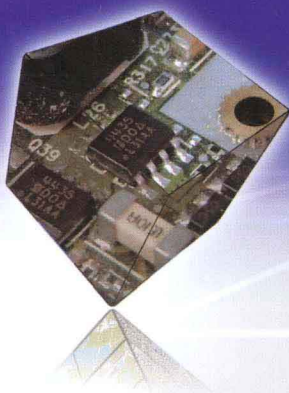


嵌入式技术与应用丛书



嵌入式电路设计教程

马洪连 主编

- ◎ 应用性强，讲求实用
- ◎ 系统性好，内容全面且重点突出
- ◎ 注重分析和设计，提高综合设计能力



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

嵌入式技术与应用丛书

嵌入式电路设计教程

马洪连 主编

朱 明 马艳华 丁 男 高新岩 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书根据课堂教学和实践操作的要求,以培养“会设计、能发展”具有创新精神和实践能力的人才、提高实际工程设计能力为目的,全面、系统地对嵌入式电路设计技术及相关知识和应用实例作了介绍,使读者通过本书的学习能够初步了解和掌握嵌入式电路设计的基本内容及实用技术。

全书共9章,主要内容包括嵌入式处理器和嵌入式系统简介、基本电路设计与实现、信号检测与信息获取电路设计、人机交互接口电路设计、信息输出通道电路设计、通信接口电路设计及系统抗干扰和低功耗电路设计,最后还介绍了EDA与可编程逻辑器件的相关知识,以及电路原理图与电路PCB的设计与实现过程。各章均配有相应的习题与思考题,可供教学选用。

本书可供高等院校计算机、电子信息工程、自动化、机电一体化等类工程专业作为专业教材使用,也可作为电子制作、课程设计、毕业设计的参考书,并可作为相关工程设计人员进行电子电路设计与制作时的参考书。

本书配有教学用的PPT课件,读者可登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费注册后下载。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式电路设计教程/马洪连主编. —北京:电子工业出版社,2013.7

(嵌入式技术与应用丛书)

ISBN 978-7-121-20944-4

I. ①嵌… II. ①马… III. ①电路设计—教材 IV. ①TM02

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第150591号

责任编辑:田宏峰 特约编辑:牛雪峰

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:14.75 字数:370千字

印 次:2013年7月第1次印刷

印 数:4000册 定价:39.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

随着社会对物联网、嵌入式系统设计以及无线通信设备设计、智能仪器仪表和智能装置等设计人员需求的日益增加,社会急需能够独立进行嵌入式电路设计方面的人才。为了尽快提高在校学生的系统综合设计能力,作者在本校开设了这方面的选修课程。通过几年来的理论和教学实践,取得了很好的效果。为此,编写了本书,以供业界同行和读者参考和借鉴。

本书以培养“会设计、能发展”,具有创新精神和实践能力的人才为目的,以提高学生的分析问题和解决实际问题的能力为出发点,全面、系统地介绍了关于嵌入式电路设计中的相关知识以及基本组成、结构和设计方法和应用实例。本书的特点如下:

系统性好,内容全面且重点突出

本书系统地介绍嵌入式电路设计方面的基本知识、设计方法和典型的设计电路,以作为将来进一步研究和实践的基础。本书对基本概念、设计方法、设计模式等进行了系统的介绍,同时重点突出嵌入式应用特色方面的设计内容,并结合实例进行了深入的分析。

应用性强,讲求实用

本书针对嵌入式电路设计的工程设计方法、设计模式、可靠性等专业知识和应用性强的内容进行了介绍,以便学生们能够更全面、更系统地学到实用的专业知识和应用技能。

注重实用电路的分析和设计,提高学生在系统综合设计方面能力

作为一门应用性较强的课程,培养学生的工程实践能力是主要目标之一。因此,本书在内容上加入了大量的典型实用电路设计案例,同时在各章节后安排了一定的实践性较强的习题与思考题,以便强化学生在独立分析和解决问题这方面的实践能力的培养。

全书具体分为9章:第1章嵌入式处理器与嵌入式系统简介;第2章基本电路的设计与实现;第3章信号检测与信息获取电路的设计;第4章人机交互接口电路设计;第5章信息输出通道电路设计;第6章通信接口电路设计;第7章系统抗干扰与低功耗电路设计;第8章EDA与可编程逻辑器件;第9章电路原理图与电路PCB的设计与实现。本书可作为国内大专院校相关专业学生的教材,全部内容讲授参考学时为32学时,实验学时为24学时。

在此感谢电子工业出版社的编辑,是他们的大力支持,才能使本书很快地出版发行。本书在编写中参考和引用了有关方面的书籍,在此对参考文献中所有的作者表示感谢。

由于作者经验与水平的限制,书中如出现疏漏或不适宜的内容,希望读者给予批评指正,在此表示感谢。本书提供配套的电子课件及相关配套资源,同时也欢迎读者,尤其希望采用本书的教师和学生,共同探讨相关教学内容、教学方法等问题。

作 者

2013年6月

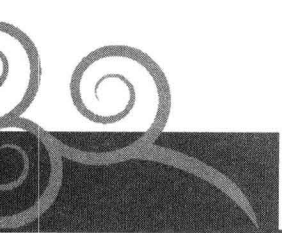
目 录

第 1 章 嵌入式处理器与嵌入式系统简介	1
1.1 概述	2
1.2 嵌入式处理器	3
1.2.1 嵌入式微控制器	4
1.2.2 嵌入式微处理器	9
1.2.3 嵌入式 DSP 处理器	12
1.2.4 嵌入式片上系统	12
1.3 嵌入式系统简介	13
1.3.1 嵌入式系统组织结构概述	13
1.3.2 嵌入式硬件系统	14
1.3.3 嵌入式软件系统	15
1.4 嵌入式系统的开发模式	23
习题与思考题	26
第 2 章 基本电路的设计与实现	27
2.1 系统时钟电路与复位电路的设计	28
2.1.1 嵌入式处理器时钟电路的设计	28
2.1.2 系统复位电路的设计	29
2.2 嵌入式存储系统的设计与实现	31
2.2.1 概述	31
2.2.2 存储系统的构成及工作原理	32
2.2.3 存储器系统的设计实例	34
2.3 系统电源部分的设计与实现	41
2.3.1 直流稳压电源概述	42
2.3.2 串联型直流稳压电源	43
2.3.3 DC/DC 变换电路	53
2.3.4 交流/电池供电切换电路	55
2.3.5 稳压电源设计实例	57
习题与思考题	59
第 3 章 信号检测与信息获取电路设计	61
3.1 传感器	62
3.1.1 概述	62
3.1.2 传感器的选用原则	63
3.1.3 常用传感器	63
3.2 自动识别技术与接口电路设计	72
3.2.1 概述	72

3.2.2	条形码接口电路设计	73
3.2.3	无线射频识别技术与接口电路设计	77
3.3	模拟信号检测电路设计	82
3.3.1	检测系统结构组成	82
3.3.2	信号调理电路设计	84
3.3.3	模/数转换器接口电路设计	86
3.4	数字信号与非电量参数的检测技术	94
3.4.1	开关量信号的检测	94
3.4.2	时间型信号的检测	94
3.4.3	频率及周期型信号的检测	95
3.4.4	视频、图形与声音信号的检测技术	96
	习题与思考题	100
第4章	人机交互接口电路设计	102
4.1	按键式接口电路设计	103
4.1.1	概述	103
4.1.2	键盘接口电路设计	104
4.2	显示器接口电路设计	105
4.2.1	液晶显示器接口设计	105
4.2.2	LED 显示器接口设计	108
4.3	触摸屏接口电路设计	113
4.3.1	电阻式触摸屏	114
4.3.2	电容式触摸屏	115
4.3.3	触摸屏接口电路设计实例	115
	习题与思考题	118
第5章	信息输出通道电路设计	119
5.1	模拟信号输出通道	120
5.1.1	概述	120
5.1.2	DAC 的结构组成与工作原理	120
5.1.3	DAC 的主要技术指标	122
5.1.4	DAC 与微控制器接口电路设计	123
5.1.5	模拟信号的功率放大	130
5.2	开关量输出与驱动电路设计	132
	习题与思考题	134
第6章	通信接口电路设计	136
6.1	概述	137
6.2	有线通信接口电路设计	138
6.2.1	通用异步收发器	139
6.2.2	RS-232C 标准串行通信	139
6.2.3	通用串行总线 USB	142

6.2.4	内部集成电路串行通信	144
6.2.5	串行外围设备接口	147
6.2.6	RS-485 标准串行通信	150
6.3	无线通信与定位系统接口电路设计	151
6.3.1	蓝牙无线通信	152
6.3.2	ZigBee 无线通信	153
6.3.3	GPRS、CDMA 与 3G 通信技术	156
6.3.4	全球卫星定位系统	159
6.3.5	电力线载波通信	162
	习题与思考题	163
第 7 章	系统抗干扰与低功耗电路设计	165
7.1	噪声与干扰	166
7.2	抗干扰电路设计	167
7.2.1	硬件抗干扰电路设计	167
7.2.2	软件抗干扰措施	173
7.3	系统低功耗电路设计	175
7.3.1	低功耗设计技术概述	176
7.3.2	硬件低功耗设计技术	176
7.3.3	软件低功耗设计技术	177
	习题与思考题	178
第 8 章	EDA 与可编程逻辑器件	179
8.1	电子设计自动化技术	180
8.1.1	概述	180
8.1.2	常用的 EDA 工具	182
8.2	硬件描述语言	183
8.2.1	VHDL 描述语言	184
8.2.2	Verilog 描述语言	186
8.2.3	Verilog HDL 和 VHDL 的比较	186
8.3	可编程逻辑器件	187
8.3.1	CPLD 和 FPGA 概述	188
8.3.2	CPLD 和 FPGA 的结构特点和用途	188
8.4	主流的 CPLD/FPGA 开发工具	190
8.4.1	MAX+Plus II	190
8.4.2	Quartus II	191
8.4.3	Synplify Pro	192
8.5	CPLD/FPGA 的设计流程	193
	习题与思考题	196
第 9 章	电路原理图与电路 PCB 的设计与实现	197
9.1	Altium (Protel) 电路设计软件工具	198

9.2	硬件电路设计基本知识	201
9.2.1	电路原理图设计要求	201
9.2.2	印制电路板图的基础知识	201
9.3	硬件电路的原理图绘制	206
9.3.1	硬件电路原理图的设计流程	206
9.3.2	电路原理图的设计注意事项	207
9.3.3	电路原理图的应用设计举例	208
9.4	硬件电路的 PCB 板图绘制	212
9.4.1	PCB 板图设计的工作流程	212
9.4.2	PCB 设计技巧与注意事项	215
9.4.3	PCB 设计原则与抗干扰措施	216
9.4.4	PCB 板图的应用设计举例	218
	习题与思考题	224
	参考文献	225



第 1 章

嵌入式处理器与嵌入式系统简介

目前，嵌入式系统已经广泛地应用于人们的日常生活和生产过程中，如工业控制、家用电器、通信设备、医疗仪器、军事设备等。嵌入式系统已经越来越深入地影响人们的生活、学习和工作。

嵌入式系统的广义定义是：以应用为中心，以计算机技术为基础，软件、硬件可裁剪，功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。也可以说，它是任意一个包含可编程计算机的设备。例如，一台包含有微处理器的打印机、数码相机、数字音频播放器、数字机顶盒、游戏机、手机和便携式仪器设备等都可以称为嵌入式系统。

1.1 概 述

1. 嵌入式系统的结构组成

嵌入式系统一般由嵌入式硬件设备、嵌入式软件部分组成。嵌入式系统的结构框图如图 1-1 所示。

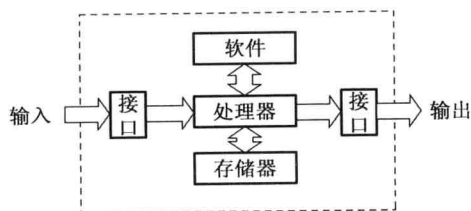


图 1-1 嵌入式系统结构框图

图 1-1 中的嵌入式系统硬件部分包括（嵌入式）处理器、存储器、I/O 系统和配置必要的外围接口部件，嵌入式系统的软件部分包括监控程序、接口驱动等应用软件。在 16 位以上的微处理器软件系统中，通常还需要操作系统。嵌入式系统软/硬件的完整整体框架如图 1-2 所示。



图 1-2 嵌入式系统的软/硬件框架

嵌入式系统外围电路一般由时钟、复位电路、程序存储器、数据存储器 and 电源模块等部件组成。外部设备一般应配有显示器、键盘和触摸屏等以及相应接口电路。如果将嵌入式处理器、电源电路、时钟电路和存储器部分（如 ROM 和 RAM 等）制作在一起，就可构成一个最小嵌入式核心控制模块。其中，操作系统和应用程序都可以固化在 ROM 存储器中。嵌入式系统的硬件和软件都位于嵌入式系统产品本身，而开发工具和开发系统则独立于嵌入式系统产品之外。

2. 嵌入式系统的特点

嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合后的产物。这一点就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。嵌入式系统的特点主要包括如下几方面。

1) 功耗低、体积小，专用性强

嵌入式处理器与通用型微处理器的最大不同就是嵌入式处理器大多工作在为特定用户群设计的系统中，本身具有系统内部能源消耗低、自身设备体积小、集成度高等特点。嵌入式系统将通用计算机中由许多板卡完成的任务集成在芯片内部，从而有利于嵌入式系统设计趋于小型化，大大增强产品的便携性及移动性。

2) 操作系统内核小, 系统要求实时性强

嵌入式系统的系统软件和应用软件在设计上不要求其功能大而全, 在系统的具体实现上要求可靠性强、操作简单化。这一方面有利于控制系统成本, 同时也利于实现系统安全。嵌入式系统的软件要求被固态存储, 以提高系统可靠性和稳定性。在软件代码的编写上, 要求高质量、高可靠性和实时性。由于嵌入式系统一般应用于小型电子装置和设备中, 所以在系统资源相对有限的场合, 其操作系统较之传统的操作系统要小得多。例如, $\mu\text{C}/\text{OS}$ 操作系统, 核心内核只有 8.3 KB; 而 Windows 操作系统的核心内核则最少需要几十 MB, 一般情况下也需要几 GB 的存储容量。

很多嵌入式系统都需要对所处环境的变化需要及时做出反应, 以便实时地得到所需结果, 不能延迟。例如, 在精密数控机床加工过程中的控制及自动化监控设备中都需要准确、及时的反馈和控制, 否则会造成极大地损失, 乃至系统的崩溃。

3) 创新性和专一的应用性

嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起, 其升级换代也是和具体产品同步进行的, 因此嵌入式系统产品应具有明显的创新性和应用性。这样的产品一旦进入市场, 就会具有较长的生命周期。

4) 高效率地设计

由于对成本、体积和功耗有严格要求, 使得嵌入式系统的资源(如内存、I/O 接口等)有限, 因此对嵌入式系统的硬件和软件都必须高效率地设计。在系统硬件、软件设计过程中要采用量体裁衣、去除冗余的方法, 力争在有限的资源上实现更高的性能和更低的成本。

5) 需要开发环境和调试工具

由于嵌入式系统本身不具备自主开发能力, 即使在设计完成以后, 用户通常也不能对其中的程序功能进行修改, 必须有一套开发工具和环境才能进行开发。然而, 这些工具和环境一般是借助于通用计算机等设备来实现的。在进行嵌入式系统的开发中, 通常存在主机(或称宿主机)和目标机(设计好的嵌入式系统硬件平台)的概念, 其中主机用于嵌入式系统相应程序的开发, 目标机作为最后的执行机构。在实际的开发过程中, 往往需要它们之间反复交替结合来进行。



1.2 嵌入式处理器

嵌入式系统应用需求的广泛性, 以及应用功能的单一性、确定性的特点, 决定了嵌入式处理器实现高性能的途径与通用微处理器有所不同, 嵌入式处理器主要是针对于专门的应用领域进行专门设计来满足高性能、低成本和低功耗的要求。

嵌入式系统的核心是嵌入式处理器, 它对实时多任务具有很强的支持能力, 能够完成多任务并且有较短的中断响应时间, 从而使内部的代码和实时内核的执行时间减少到最低程度; 同时, 还具有功能很强的存储区保护功能, 这是由于嵌入式系统的软件结构已采用模块化形式结构。为了避免在软件模块之间出现错误的交叉作用, 其内部设计有存储区保护功能, 这有利于软件诊断。另外, 处理器还具有可扩展结构的功能, 有利于快速地开发出满足应用性

能的专用嵌入式处理器。嵌入式处理器内部功耗很低，甚至可以在 mW 或 μW 数量级，经常用于便携式的无线及移动的计算和通信设备上。目前，社会上应用的嵌入式处理器一般可以分为以下四种类型，如图 1-3 所示，本节将分别进行介绍。

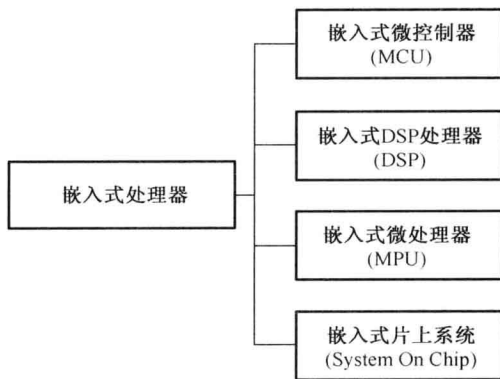


图 1-3 嵌入式处理器的四种分类形式

1.2.1 嵌入式微控制器

微控制器 (Micro Controller Unit, MCU) 的典型代表是单片机，目前 8 位或 16 位的 MCU 在嵌入式设备中仍然有着极其广泛的应用。

1. 微控制器概述

微控制器诞生于 20 世纪 70 年代末，由于其微小的体积和极低的成本，已经广泛地应用到智能传感器、无线网络节点、智能玩具、家用电器、机器人、仪器仪表、汽车电子系统、工业控制单元、办公自动化设备、金融电子系统、个人信息终端和通信产品中。目前，MCU 已成为现代电子系统中最重要的智能化核心器件。

MCU 只是一个核心控制单元，在实际应用中通常需要扩展一些外围电路和外围芯片以构成具有一定应用功能的 MCU 系统。由于 MCU 自身配置的软/硬件资源有限，要进行 MCU 系统的开发设计时，必须使用专门的 MCU 开发系统。目前国内市场上可提供各种类型和型号的 MCU 开发系统，为 MCU 的开发应用提供了有力的工具，也使 MCU 用户有了很大的选择余地。

MCU 的制造商很多，例如 Atmel、Motorola 和 Philips 等国际知名集成芯片制造公司。在采用 MCU 进行系统设计开发时，需要依据被设计系统功能的复杂程度、性能指标和精度要求，参照现有 MCU 本身具有的功能、精度、运行速度、存储器容量、功耗和开发成本等几个方面综合进行选择。一般而言其选择原则主要应从以下几方面考虑：

(1) 根据所设计任务的复杂程度来决定选择什么样的 MCU。推荐使用自身带有 Flash 存储器的 MCU，由于具有电写入、电擦除的优点，使得修改程序很方便，可以提高开发速度。

(2) 在 MCU 的运行速度选择上不要片面追求高速度，还应该看其时钟频率和指令集，因为 MCU 的稳定性、抗干扰性等参数基本上是跟速度成反比的，另外速度快功耗也大。

(3) I/O 端口的数量和功能是选用 MCU 时要考虑的主要因素之一, 根据实际需要确定其数量, I/O 端口过多不仅会使芯片的体积增大, 也会增加成本。

(4) MCU 一般内部提供 2~3 个定时/计数器, 有些定时/计数器还具有输入捕获、输出比较和 PWM (脉冲宽度调制) 功能。现在不少 MCU 内部还提供了 A/D 和 D/A 转换器, 充分利用这些功能不仅可以简化软件设计, 而且还能少占用 MCU 的资源。

(5) 常见的 MCU 串行接口有 UART 接口、I²C 总线接口、SPI 接口、USB 接口等不同类型, 可以根据实际需要选择不同的 MCU 芯片。

(6) MCU 的工作电压一般为 3.3 V 和 5 V, 功耗参数主要是指正常模式、空闲模式、掉电模式下的工作电流, 选用电池供电的 MCU 系统要选用电流小的产品, 同时要考虑是否要用到掉电模式, 如果需要可用可选择有相应功能的 MCU 芯片。

(7) MCU 芯片的封装一般有 DIP (双列直插式封装)、PLCC (带引线的芯片载体)、QFP (四侧引脚扁平封装)、SOP (双列小外形贴片封装) 等类型, 所以可以根据实际需要来进行选择。

MCU 的其他性能因素方面的选择, 还有如中断源的数量和优先级选择、工作温度范围选择、有无加电复位功能等方面; 另外, 还要考虑系统的开发工具、编程器、开发成本、技术支持和服务和产品价格等诸多因素。

下面将选择介绍一下目前 MCU 中比较有代表性的 8 位 AT89S52 单片机和 16 位 MSP430 系列单片机。

2. 典型 8 位单片机简介

MCS-51 系列单片机是在 20 世纪在 80 年代由 Intel 公司推出的一种 8 位单片机, 其片内集成并行 I/O 口、串行 I/O 口、16 位定时/计数器、RAM、ROM 等, 最高时钟频率为 12 MHz, 采用 CISC 体系指令系统, 三总线结构。由于 MCS-51 系列单片机不断推陈出新, 基于 51 系列内核的产品已有几十个系列、上百种型号。目前广泛应用的 8 位单片机是美国 Atmel 公司生产型号为 AT89S52 系列单片机, 其内部结构及外形引脚与 Intel MCS-51 系列 8 位单片机兼容, 软件也是采用 Intel MCS-51 指令系统。AT89S52 系列单片机是一款低功耗、高性能 CMOS 单片机。

1) 性能和特点

(1) 片内存储器包含 8 KB 的 Flash ROM, 可在线编程, 擦写次数不小于 1000 次; 另外还具有 256 B 的片内 RAM, 内部支持 ISP (在线更新程序) 功能。

(2) 具有可编程的 32 根 I/O 端口线 (P0、P1、P2 和 P3 端口), 内含两个数据指针 DPTR0 和 DPTR1, 地址/数据线复用等功能。

(3) 中断系统是具有 8 个中断源, 6 个中断向量和 2 级优先权的中断结构。

(4) 串行通信口是一个全双工的 UART 串行口。

(5) 两种低功耗节电工作方式。在空闲方式下, CPU 停止工作, RAM 和其他片内的部件 (如振荡器、定时/计数器、中断系统等) 继续工作。此时的电流可降到大约为正常工作方式时的 15%。在掉电方式下, 所有片内的部件都停止工作, 只有片内 RAM 的内容被保持, 这种方式下的电流可降到 15 pA 以下。

(6) 工作模式下主频为 0~33 MHz, 工作电源电压为 4.0~5.5 V。

(7) 指令系统中大部分指令为单周期指令, 同时还具有布尔处理器的功能。

2) 内部结构组成

简单来讲, 微控制器是指一个集成在一块芯片上的完整计算机系统, 其内部一般具有 CPU、内存、内部和外部总线系统, 同时集成了诸如通信接口、定时器、实时时钟等外围设备。目前某些高档次的 MCU 甚至可以将模拟/数字转换器、数字/模拟转换器以及声音、图像、网络等复杂的输入/输出系统集成在一块芯片上。由于 MCU 具有低廉的价格和优良的功能, 所以拥有的品种和数量众多。AT89S52 单片机内部结构原理图如 1-4 所示。

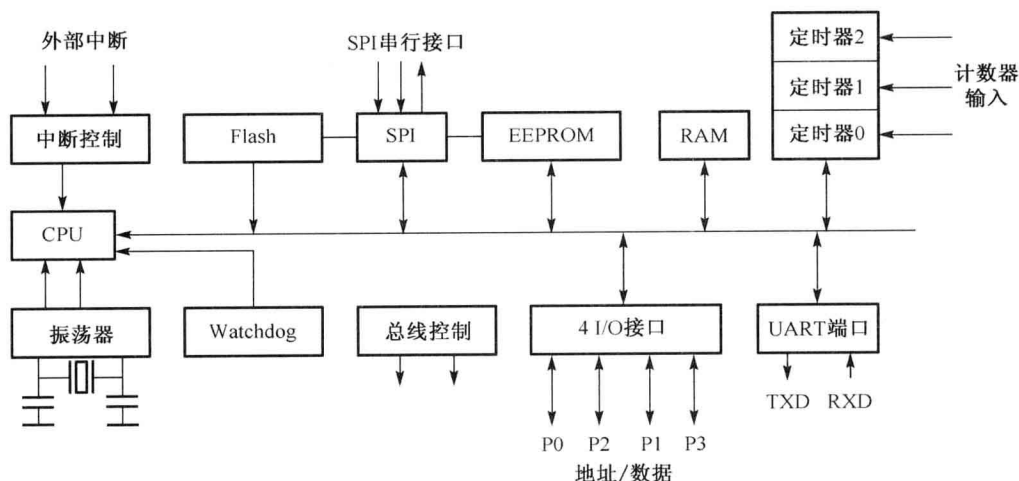


图 1-4 AT89S52 单片机内部结构原理图

Atmel 公司生产的 AT89S 系列单片机支持在系统编程 (ISP), 为单片机程序的开发调试提供了极大的便利。AT89ISP 软件是由 Atmel 公司开发的用于 AT89S 系列单片机在线程序下载的免费软件, 它提供了对单片机进行在系统编程、查看和擦除 Flash 等功能。

3) AT89ISP 软件的安装

AT89ISP 软件的安装简单, 对系统配置的要求较低。安装完成后, 执行下列操作:

(1) 连接下载线。将单片机系统板通过 Atmel ISP 下载线连接到计算机接口, 并给单片机系统板通电。

(2) 端口设置。单击 AT89ISP 工具栏上的端口选择按钮, 软件弹出端口选择对话框。需要根据下载线的连接方式正确选择接口编号, 否则无法正常使用 ISP 功能。选择完成后, 单击 OK 按钮。

(3) 选择单片机型号。单击 AT89ISP 工具栏上选择器件按钮, 打开器件选择对话框, 单击 AT89 文件夹的层叠菜单, 在其中找到目标系统中的单片机型号, 如 AT89S52, 单击 OK 按钮。如果计算机、下载线及单片机系统板三者之间连接良好, 且单片机系统板供电正常, 会有缓存窗口自动弹出, 表明计算机与单片机系统板通信良好。

(4) 初始化。单击 AT89ISP 工具栏上初始化按钮, 初始化单片机系统板。在每次使用

AT89ISP 时,均需要使用此命令进行初始化。若电缆的连接及软件设置均正确,则会弹出已经初始化的窗口,表明计算机和单片机系统板已经准备完成,可以向单片机中下载程序。

(5) 装载程序文件。单击工具栏中的打开按钮,在打开的文件选择对话框中选择需下载的 Keil C51 编译生成的.HEX 十六进制文件。

(6) 下载程序。单击工具栏中的自动编程按钮,执行自动编程命令。下载时间由程序大小确定,从几十秒到几分钟不等,下载完成后程序会给出相应的提示。

(7) 验证程序。以上步骤已经成功地将程序下载到单片机中,断开单片机系统板和下载线的连接,给单片机复位即可看到程序运行的效果。

(8) 修改程序。若需要修改 C 语言程序,则每次修改完程序后都要在 Keil C51 中重新编译,生成新的.HEX 文件。需要注意的是每次下载.HEX 文件之前都需要重新装载程序文件,将最新的.HEX 文件调入缓冲区中,再执行下载。

另外值得注意的是,AVR 系列单片机是 Atmel 公司于 1997 年研发出的 RISC 精简指令集的高速 8 位单片机,它全新配置了精简指令集、速度快,大多数指令仅用 1 个时钟周期,比 52 系列单片单周期指令快 12 倍;片内程序存储器采用 Flash 存储器,程序保密性高;支持 C 语音编程,采用 CMOS 生产工艺,功耗低,3 V 电源工作下一般只需几 mA 电流;还拥有多种低功耗方式,在掉电方式下工作电流小于 1 μA 。AVR 系列单片机的片内资源更为丰富,接口也更为强大,同时由于其价格低等优势,在很多场合可以替代 51 系列单片机。

3. 典型 16 位 MSP430 系列单片机简介

MSP430 系列是由美国 TI 公司 1996 年推出的产品,片内具备在线下载调试(JTAG)功能,片上外设十分丰富,具有超低功耗特色,因此常用在各种便携式的智能仪器仪表等装置中。下面以常用的 MSP430F43X 系列为例介绍其性能和特点。

(1) 低电压、超低功耗。MSP430F43X 系列单片机的工作电压范围为 1.8~3.6 V,工作电流会因不同的工作模式而不同。例如,CPU 在工作电压为 2.2 V,频率为 1 MHz 的正常工作模式下,其工作电流为 280 μA ,待机工作模式下为 1.1 μA ,掉电工作模式下为 0.1 μA ;内部具有 16 个中断源,并且可以任意嵌套,使用灵活方便;用中断请求将 CPU 唤醒只要 6 μs ,可编制出实时性特别高的源代码;可将 CPU 置于省电模式,用中断方式唤醒程序。

(2) 具有强大的处理能力。MSP430 系列单片机为 16 位 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;高效的查表处理方法;较高的处理速度,在 8 MHz 晶体驱动下,指令周期为 125 ns。这些特点可保证编制出高效率的源程序。

(3) 系统工作稳定。上电复位后,系统能够保证晶体振荡器有足够的起振及稳定时间,然后可由软件设置适当的寄存器的控制位来确定最后的系统时钟频率。如果程序跑飞,可用“看门狗”将其复位。

(4) 方便高效的开发环境。目前主要应用的 MSP430F43X 系列内部采用 Flash 型存储器,具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,因此可先将程序下载到 Flash 内,然后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,以供设计者调试和开发。这种方式只需要一台 PC 和一个 JTAG 调试器,不需要仿真器和编程器。在开发语言方面,可以采用汇编语言或者 C 语言。

(5) MSP430 系列器件均为工业级的,运行环境温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ 。

MSP430 系列单片机的各成员都集成了较为丰富的片内外设,其基本结构包括看门狗(WDT)、2个定时器(TimerA 和 TimerB)、比较器、2个串口(UART0 和 UART1)、硬件乘法器、液晶驱动器、10位/12位 ADC、最长达 6×8 条 I/O 口线、基本定时器(Basic Timer)。以上外围模块再加上多种存储器方式就构成了不同型号的 MSP430 微控制器。MSP430F43X 系列单片机内部结构框图如图 1-5 所示。

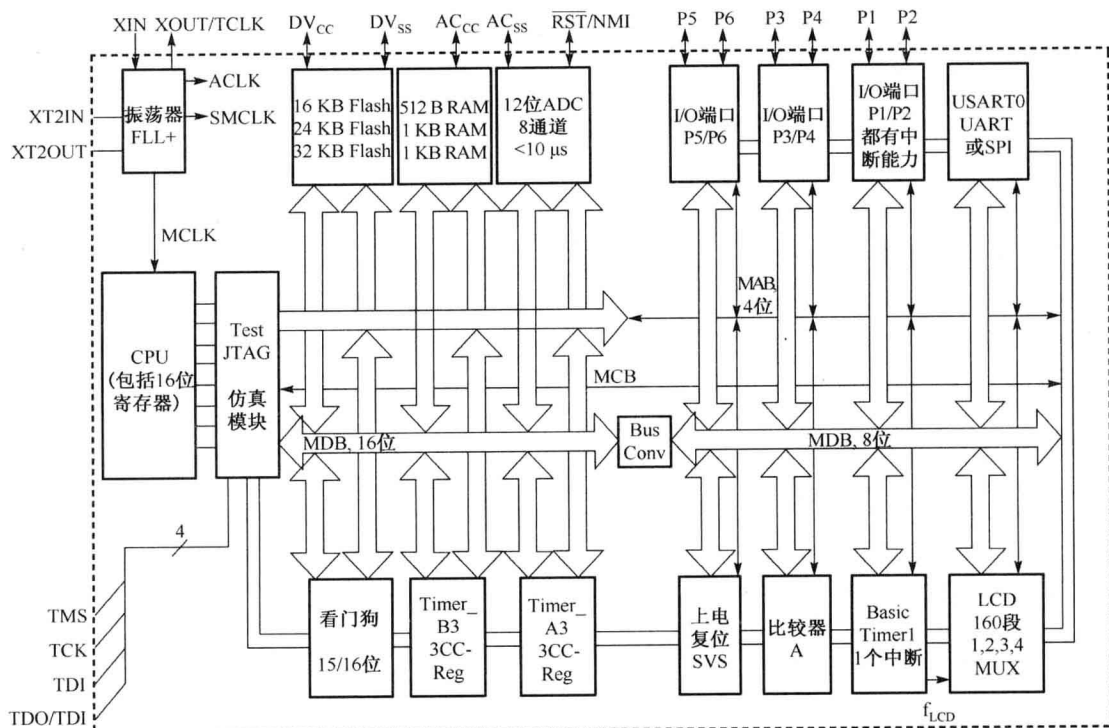


图 1-5 MSP430F43X 系列单片机内部结构框图

MSP430 系列单片机的开发软件较多,但常用的是 IAR 公司的集成开发环境,即 IAR Embedded Workbench 嵌入式工作台以及调试器 C-SPY。下面将进行简单介绍。

IAR Embedded Workbench 为开发不同的目标处理器的项目提供强有力的开发环境,并为每一种目标处理器提供工具。IAR Embedded Workbench 使用项目模式来组织应用程序,它有如下一些特点:

- (1) 可以在 Windows 环境下运行,分层的项目表示,直观的用户界面。
- (2) 工具与编辑器全集成,全面的超文本帮助。

(3) 可以同时编辑汇编语言和 C 语言源文件,汇编语言程序和 C 语言程序的句法可用文本格式和颜色加以区别显示。

(4) 具有强有力的搜索和置换命令,而且可以多个文件搜索,从出错列表直接跳转到出错的相关文件的相关语句。

(5) 可以设置在出错语句前标志; 圆括号匹配; 自动缩进, 可以设置自动缩进的空格; 每个窗口的多级取消与恢复。

目前 MSP430 系列的型号已经达到 100 多种, 可以适用于不同的产品开发需要。总之, 单片机的最大特点是单片化, 体积小, 功耗和成本低, 非常适合用于进行计算机控制、家用电器、智能装置、仪器仪表等领域, 因此也被称为微控制器 MCU。

1.2.2 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器 (Embedded Micro Processor, 简称 EMPU 或者 MPU) 是嵌入式系统的核心部件, 其内部由 32 位运算器、控制器、寄存器组和部分存储器组成。与通用微处理器不同的是: 在实际嵌入式应用中, 其内部只保留和嵌入式应用紧密相关的功能硬件, 去除了其他冗余功能的部分, 这样就能够以最低的功耗和资源满足嵌入式应用的特殊要求。

1. 概述

嵌入式微处理器系统的功能和标准与通用微处理器基本类似, 只是在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面专门做了适当的增强。与工业控制计算机相比, 嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点。主流的嵌入式微处理器芯片有基于 ARM (Advanced RISC Machines Limited)、Am186/88、PowerPC、68000、MIPS 等系列的产品。具有 32 位体系结构嵌入式微处理器的性能优势如下:

1) 寻址空间大

在 ARM 的体系结构里, 所有的资源, 如存储器、控制寄存器、I/O 端口等都是在有效的地址空间内进行统一编址的, 方便程序在不同处理器间的移植。

2) 运算和数据处理强

采用了先进的 CPU 设计理念、多总线接口 (哈佛结构)、多级流水线、高速缓存、数据处理增强等技术, 这样使得 C、C++、Java 等高级语言得到了广泛的应用空间, 几乎所有的通信协议栈都能在 32 位 CPU 中实现。另外, 多数的微处理器都包含有 DMA 控制器, 这样就进一步提高了整个芯片的数据能力。

3) 支持操作系统

如果某个系统有多任务的调度、图形化的人机界面、文件管理系统、网络协议等需求, 那么就必须使用嵌入式操作系统。一般复杂的操作系统在多进程管理中还需要有硬件存储器保护单元或内存管理单元 (MMU) 的支持, 目前 ARM9 以上的微处理器均有这些支持, 可运行 Linux、WinCE 和 VxWorks 等多种嵌入式操作系统。

目前, ARM 系列的嵌入式微处理器有 ARM7、ARM9、ARM10 和 ARM11 相关产品系列。在 ARM 体系架构的每个系列微处理器都提供一套特定的配置来满足设计者对功耗、性能和体积的需求。基于 ARM 体系架构的微处理器一般是由 32 位 ALU、37 个通用寄存器及状态寄存器、32 位桶形移位寄存器、指令译码及控制逻辑、指令流水线和数据/地址寄存器等部件组成的。ARM 系列微处理器内部结构如图 1-6 所示。

下面, 以基于 ARM9 系列由韩国三星公司生产的嵌入式微处理器 S3C2410 作为实例予以介绍, 以便读者更好地了解 MPU。