

 北极光



卓越工程师
培养计划丛书



MSP430

汇编指令体系及 在接地电阻测试仪中的应用

◎ 隋首钢 杜俊贤 等编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

卓越工程师培养计划丛书

MSP430 汇编指令体系及在接地 电阻测试仪中的应用

隋首钢 杜俊贤 李艳萍 王连桂 编著
高焕兵 刘存根 石 震

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以 MSP430F149 单片机为例,从 MSP430 系列单片机的汇编语言体系入手,介绍其汇编语言体系及编程方法,结合 MSP430 系列单片机的内部功能部件,讲解其相关内部功能部件的典型汇编语言程序。最后,以基于 MSP430 的接地电阻测试仪为例,编写了实际单片机开发产品的汇编指令程序,供大家参考。

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

MSP430 汇编指令体系及在接地电阻测试仪中的应用/隋首钢等编著. —北京:电子工业出版社,2014.8
(卓越工程师培养计划丛书)

ISBN 978-7-121-24069-0

I. ①M… II. ①隋… III. ①单片微型计算机—汇编语言—程序设计—应用—电阻接地—测试仪表
IV.①TP313②TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 187131 号



策划编辑:柴 燕(chaiy@phei.com.cn)

责任编辑:王凌燕

印 刷:北京京华虎彩印刷有限公司

装 订:北京京华虎彩印刷有限公司

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:787×1 092 1/16 印张:12.5 字数:320 千字

版 次:2014 年 8 月第 1 版

印 次:2014 年 8 月第 1 次印刷

定 价:45.00 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 zlts@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



MSP430 系列单片机是美国德州仪器公司 (Texas Instrument) 于 1996 年开始向市场推出的一种新型单片机, 由于其低功耗特性, 以及处理能力强、运算速度快、片内资源丰富等特点, 目前广泛应用于便携式仪表及其他要求高性能、低功耗的电子产品环境中, 深受广大硬件产品工程师及爱好者的欢迎。

作为一款典型的单片机产品, 其具有特定的汇编语言体系, 汇编语言程序效率高, 占用存储空间小, 运行速度快, 能够更方便地实现编程, 从而实现了 MSP430 系列单片机精准控制, 并反映出单片机的实际运行情况。本书以 MSP430F149 单片机为例, 从 MSP430 系列单片机的汇编语言体系入手, 详细介绍其汇编语言体系及编程方法, 并结合 MSP430 系列单片机的内部功能部件, 讲解其相关内部功能部件的典型汇编语言程序, 再进一步针对常用外围扩展模块, 列写相关的汇编语言控制程序, 最后针对一种接地电阻测试仪给出了典型 MSP430 单片机应用系统设计实例, 供大家参考。

本书由隋首钢编写并负责书稿的整理及校核工作, 山东建筑大学鲁守银教授、王涛教授和李艳萍副教授提供项目应用案例并提供理论支持, 高焕兵和刘存根老师提供部分 MSP430 程序资料, 石震绘制了部分电路原理图, 烟台汽车工程职业学院的杜俊贤和王连桂老师为本书的汇编程序做了实验和调试工作, 在此, 感谢各位对本书的大力支持和帮助。同时在本书的编写过程中, 参考了有关资料、文献, 在此一并对资料和文献的作者表示感谢。

本书是作者长时间以来对于该单片机产品软硬件应用的经验总结, 很多程序都是实际产品的单片机程序或科研成果中所用到的程序, 有较高的参考价值, 供大家参考。

由于作者水平有限, 本书难免会出现一些不当和错漏, 诚盼读者指正。

隋首钢

于山东建筑大学信息楼

2014 年 3 月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录



第 1 章 概述	1
1.1 计算机的发展与单片机的产生	1
1.1.1 计算机的诞生	1
1.1.2 晶体管计算机	2
1.1.3 集成电路计算机	3
1.1.4 微处理器计算机	4
1.1.5 单片机的产生	5
1.2 单片机概述	5
1.2.1 单片机的概念	5
1.2.2 单片机的特点	6
1.2.3 单片机的发展趋势	6
1.2.4 应用范围	7
1.3 主流单片机产品	8
1.4 MSP430 系列单片机	9
1.4.1 MSP430 单片机介绍	9
1.4.2 MSP430 单片机的特点	9
1.4.3 MSP430 各系列产品	10
第 2 章 MSP430 单片机结构	12
2.1 MSP430 结构概述	12
2.2 MSP430 硬件结构	13
2.2.1 MSP430F149 主要功能部件	13
2.2.2 MSP430F149 引脚结构	13
2.3 MSP430 寄存器及存储器结构	18
2.3.1 通用寄存器	18
2.3.2 存储器	19
2.4 MSP430 时钟系统	21
2.4.1 时钟系统	22
2.4.2 时钟模块寄存器	23
2.4.3 设置时钟信号	25
2.5 MSP430 复位、中断及工作模式	26
2.5.1 系统复位初始化	26

2.5.2	系统的中断	27
2.5.3	低功耗模式	29
第3章	MSP430 汇编指令	32
3.1	汇编指令概述	32
3.1.1	指令系统分类	32
3.1.2	双操作数指令	33
3.1.3	单操作数指令	34
3.1.4	跳转类指令	34
3.2	寻址方式	35
3.2.1	寻址方式的概念	35
3.2.2	寄存器方式	36
3.2.3	变址方式	36
3.2.4	符号方式	37
3.2.5	绝对方式	38
3.2.6	间接方式	39
3.2.7	间接增量方式	40
3.2.8	立即数方式	41
3.2.9	各寻址方式的联系与区别	41
3.3	数据传送类指令	42
3.3.1	通用数据传送指令	42
3.3.2	清除指令	43
3.3.3	堆栈操作指令	43
3.3.4	交换字节指令	45
3.3.5	字扩展指令	45
3.4	数据运算指令	47
3.4.1	常用加法指令	47
3.4.2	十进制加法指令	49
3.4.3	加1(加2)指令	51
3.4.4	常用减法指令	52
3.4.5	减1(减2)指令	55
3.4.6	比较指令	56
3.5	逻辑运算与移位指令	57
3.5.1	逻辑运算指令	57
3.5.2	移位指令	60
3.5.3	位操作指令	62
3.6	程序流程控制指令	63
3.6.1	无条件转移指令	64
3.6.2	条件转移指令	65
3.6.3	子程序指令	66

3.6.4	其他控制指令	67
3.7	指令的编译与执行	67
3.7.1	汇编指令的编译	67
3.7.2	汇编指令执行时间	68
3.8	汇编语言程序设计	70
3.8.1	顺序结构程序设计	70
3.8.2	分支结构程序设计	71
3.8.3	循环结构程序设计	72
3.8.4	冒泡法排序程序设计	73
第4章	MSP430 功能部件及其汇编程序设计	75
4.1	MSP430 通用 I/O 端口	75
4.1.1	MSP430 端口概述	75
4.1.2	通用 I/O 端口的内部寄存器	75
4.1.3	I/O 端口中断及操作	78
4.1.4	典型通用 I/O 端口的汇编指令程序	79
4.2	MSP430 定时器	81
4.2.1	看门狗定时器 WDT	81
4.2.2	定时器 A	85
4.2.3	定时器 B	93
4.2.4	典型定时器的汇编指令程序	96
4.3	MSP430 硬件乘法器	99
4.3.1	硬件乘法器的内部结构	100
4.3.2	硬件乘法器的寄存器	101
4.3.3	典型硬件乘法器的汇编指令程序	102
4.4	MSP430 比较器	102
4.4.1	比较器 A 的内部结构	102
4.4.2	比较器 A 的寄存器	104
4.4.3	比较器 A 的中断	105
4.4.4	典型比较器的汇编指令程序	106
4.5	MSP430 串行通信模块	106
4.5.1	串行通信的概念	106
4.5.2	串行通信模块的内部结构	107
4.5.3	串行通信模块的异步通信模式	108
4.5.4	串行通信模块的同步通信模式	110
4.5.5	串行通信模块的内部寄存器	110
4.5.6	典型串行通信模块的汇编指令程序	116
4.6	MSP430 模数转换模块	118
4.6.1	模数转换的概念	118
4.6.2	ADC12 内部结构	119

4.6.3	ADC12 外部引脚	121
4.6.4	ADC12 内部寄存器	122
4.6.5	ADC12 转换模式	126
4.6.6	内部温度传感器	130
4.6.7	典型 ADC12 的外部连接	130
4.7	MSP430 Flash 存储器模块	131
4.7.1	Flash 存储器结构	131
4.7.2	Flash 存储器的寄存器	133
4.7.3	Flash 存储器的操作	135
4.7.4	Flash 存储器的中断	139
4.7.5	Flash 存储器的编程设备	139
第 5 章	MSP430 在接地电阻测试仪中的应用	140
5.1	系统概述	140
5.1.1	接地电阻测试仪的应用	140
5.1.2	系统工作原理	140
5.1.3	系统各模块说明	141
5.2	MSP430 基本系统设计	142
5.2.1	电路硬件结构	142
5.2.2	相关汇编指令程序	145
5.3	正弦电压产生电路	149
5.3.1	AD9850 模块介绍	149
5.3.2	电路硬件结构	150
5.3.3	相关汇编指令程序	153
5.4	电流检测电路及 ADC12 在接地电阻测试仪中的应用	154
5.4.1	电路硬件结构	154
5.4.2	相关汇编指令程序	156
5.5	按键与显示模块扩展及在接地电阻测试仪中的应用	158
5.5.1	显示模块 12864 介绍	158
5.5.2	电路硬件结构	161
5.5.3	相关汇编指令程序	162
5.6	定时器 A 捕捉功能在接地电阻测试仪中的应用	169
5.6.1	电路硬件结构	169
5.6.2	相关汇编指令程序	169
5.7	SPI 接口扩展及时钟芯片 DS1302 在接地电阻测试仪中的应用	171
5.7.1	时钟芯片 DS1302 介绍	171
5.7.2	电路硬件结构	173
5.7.3	相关汇编指令程序	174
5.8	I ² C 接口扩展及存储芯片 AT24C02 在接地电阻测试仪中的应用	178
5.8.1	I ² C 接口介绍	178

第1章 概述

1.1 计算机的发展与单片机的产生

1.1.1 计算机的诞生

1944 年,在国际商业机器公司 (IBM 公司) 的支持下,霍华德·艾肯 (Howard Hathaway Aiken) 制造了世界上第一台程序控制的自动数字计算机——MARK-I,在美国哈佛大学投入运行,IBM 公司将它命名为 ASCC (Automatic Sequence Controlled Calculator)。1947 年,艾肯又制造成功一台全部使用继电器的计算机——MARK-II。艾肯等人制造的这一批机电计算机是计算机发展史上短暂的一页。

1946 年,在战火纷飞的第二次世界大战,弹道的计算需要高性能的计算机,而继电器开关速度大约是百分之一秒,使运算速度受到限制。美国宾夕法尼亚大学的莫奇莱 (John William Manchly) 教授和埃克特 (John Eckert Presper) 博士等人设计制造出新型计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator)¹。在 ENIAC 内部,包含有:

- 17468 只电子管。
- 7200 只二极管。
- 70000 多只电阻器。
- 10000 多只电容器。
- 6000 只继电器。
- 焊接点多达 50 万个。

ENIAC 占地面积为 170m² 左右,总重量达到 30t,如图 1-1 所示。但这台机器还不够完善,比如,它的耗电量超过 174kW;电子管平均每隔 7min 就要被烧坏一只。

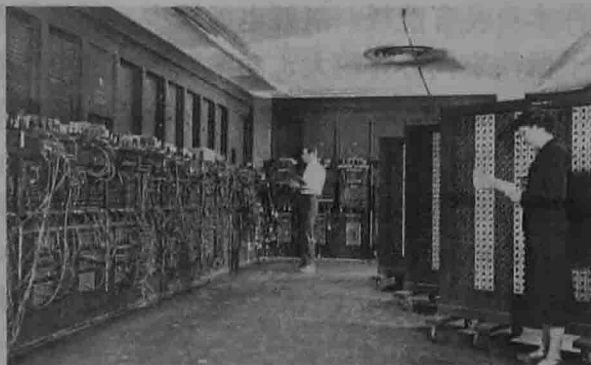


图 1-1 ENIAC 计算机



ENIAC 标志着电子计算机的创世，人类社会从此迈进了计算机时代的门槛。

1945 年冯·诺依曼以“关于 EDVAC 的报告草案”为题，起草了长达 101 页的总结报告。报告广泛而具体地介绍了制造电子计算机和程序设计的新思想，即“冯·诺依曼体系结构”，该理论体系明确提出了新计算机由 5 个部分组成，包括运算器、逻辑控制装置、存储器、输入和输出设备，并描述了这 5 部分的职能和相互关系，为现代计算机的设计提供了坚实的理论。

1949 年 8 月 EDVAC 交付给弹道研究实验室并从 1951 年开始正式运行，EDVAC 使用了大约 6000 只真空管和 12000 只二极管，占地 45.5m^2 ，重达 7850kg，消耗电力 56kW。EDVAC 每天运行超过 20 小时，直到 1961 年才被 BRLESC 所取代。

EDVAC 是第一台现代意义的通用计算机，“冯·诺依曼体系结构”一直延续至今，因此现在一般计算机被称为冯·诺依曼结构计算机。鉴于冯·诺依曼在发明电子计算机中所起到了关键性作用，他被西方人誉为“计算机之父”，如图 1-2 所示。

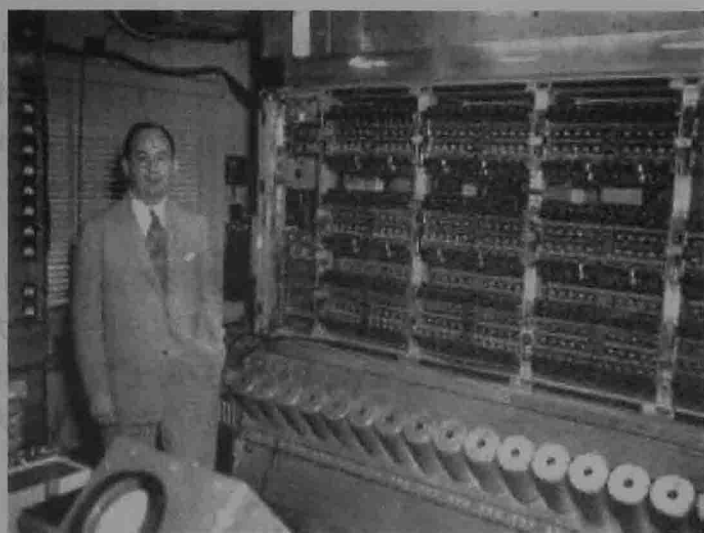


图 1-2 EDVAC 计算机与冯·诺依曼

1.1.2 晶体管计算机

1947 年 12 月，美国贝尔实验室的威廉·肖克利（William Shockley）、约翰·巴丁（John Bardeen）和沃特·布拉顿（Walter Brattain）组成的研究小组，研制出一种点接触型的锗晶体管。晶体管出现后，其器件本身没有消耗、消耗电能极少、不需预热、结实可靠等优点，使得人们能用这种新型的电子器件来代替体积大、功率消耗大的电子管，从而推动了电子技术的飞跃式发展。肖克利、巴丁、布拉顿三人也因发明晶体管而同时荣获 1956 年的诺贝尔物理学奖。

1954 年，美国贝尔实验室研制成功第一台使用晶体管线路的计算机，其内部装有 800 只晶体管，取名“TRADIC”（Transistorized Airborne Digital Computer），如图 1-3 所示。晶体管计算机是第二代电子计算机，不仅能实现电子管计算机的功能，又具有尺寸小、重量轻、寿命长、效率高、发热少、功耗低等优点。

TRADIC 的诞生标志着计算机进入晶体管时代。

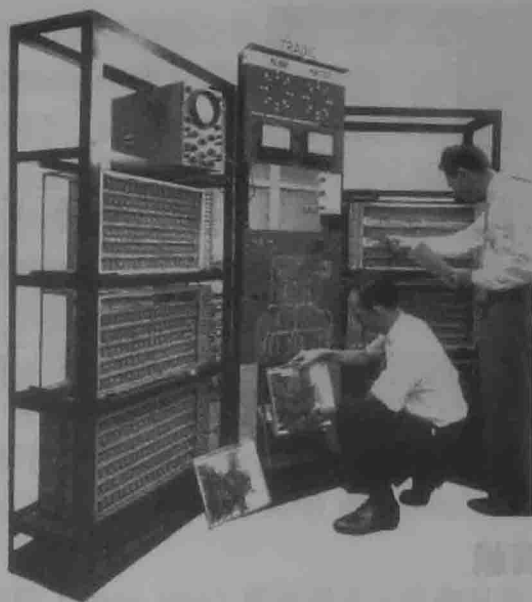


图 1-3 TRADIC 计算机与肖克利、巴丁、布拉顿

1.1.3 集成电路计算机

体积细小的晶体管电子器件却带来另一个问题，就是需要花费大量时间和金钱以人手焊接这些器件，因此，电子业接下来所面对的问题，就是要找出一种既可靠又合乎成本效益的方法来生产和焊接电子零件。

这些问题的出现，也使集成电路的出现有了动力。美国军方为了解决这些问题，在 U.S. Army Signal Corps 公司的赞助下，提出 Micro-Module program 计划，提出将所有不同类型的电子零件制成统一的大小和形状的课题，从而在组装零件时，便可将大小相同的电阻、电容和晶体管等像砌积木般组装成设计的电路，免去焊接的烦恼。

Micro-Module program 计划由德克萨斯仪器公司 (TI) 承办。1958 年 9 月 12 日，TI 的杰克·基尔比 (Jack Kilby) 基于锗平面工艺发明了世界首块集成电路，该发明与 1959 年 2 月 6 日申请专利，1964 年 6 月 26 日获得批准。而在同一时期内，1959 年，仙童公司 (Fairchild) 的罗伯特·诺伊斯 (Robert Noyce) 发明了基于硅平面工艺的集成电路，1959 年 7 月 30 日，罗伯特·诺伊斯 (Robert Noyce) 为自己的发明申请了专利，1961 年 4 月 26 日获得批准。

1961 年，在集成电路发明后不到 9 个月的时间内，德州仪器又研制出第一台用集成电路组装的计算机，标志着计算机从此进入了集成电路时代。该计算机共有 587 块集成电路，重不过 300g，体积不到 100cm^3 ，功率只有 16W。

1964 年 4 月 7 日，IBM 公司研制成功更具有历史意义的集成电路的通用计算机 IBM 360 系统，在 IBM 公司诞辰 50 周年之际，投资 50 亿元研发成功的 IBM 360 兼顾了科学计算和事务处理两方面的应用，开创了民用计算机使用集成电路的先例，5 年之内，IBM360 共售出 32300 台，创造了电子计算机销售中的奇迹，如图 1-4 所示。

IBM 360 成为第三代计算机 (集成电路计算机) 的重要里程碑。

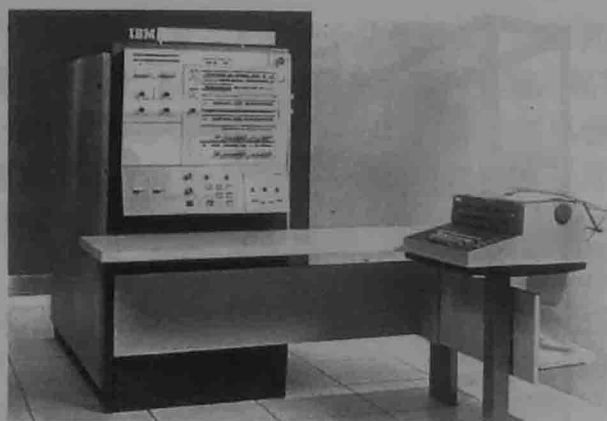


图 1-4 IBM 360 计算机

1.1.4 微处理器计算机

1971 年 11 月 15 日, Intel 4004 微处理器公开发布, 该产品是世界上第一款商用计算机微处理器, 它是“一件划时代的作品”, 其片内集成了 2250 个晶体管, 每秒运算 6 万次, 主频 0.74MHz, 当时售价 299 美元, 如图 1-5 所示。英特尔公司的首席执行官戈登·摩尔称之为“人类历史上最具革新性的产品之一”。



图 1-5 Intel 4004 CPU

Intel 4004 微处理器最初是 Intel 专门为日本一家名为 Busicom 的公司设计制造的, 用于该公司的计算器产品。但由于技术原因, Intel 的延期交货让 Busicom 公司颇为恼怒。Busicom 公司要求 Intel 打折扣, Intel 同意了, 但是它附加了一个条件: 允许 Intel 在除计算器芯片市场之外的其他市场上自由出售 4004 芯片, 并提出以 60000 美元回购该产品专利, 当时处于金融危机中的这家日本公司最终也答应了这笔 60000 美元的交易。而后, Intel 公司于 1972 年发布 Intel 8008, 1974 年发布 Intel 8080, 1978 年发布 8086/8088 微处理器。至此, Intel 公司完成了从单一的存储器制造商向微处理器制造商的转型。

同时, IBM、AMD 等公司也在 Intel 公司授权下研制兼容 8086/8088 的 CPU, 因此该类 CPU 被称为 x86 架构 CPU。

1975 年, 电脑爱好者爱德华·罗伯茨 (Edward Roberts) 基于 Intel 8008 CPU, 发明了第一台的个人计算机牛郎星 (Altair), 这是世界上第一台基于通用型 CPU 所制造的计算机。

1981 年 IBM 公司首次提出 PC (Personal Computer) 概念, 并基于 Intel 8088 CPU 和



Microsoft 公司的 MS DOS 操作系统制造出第一款 IBM PC 兼容机, 该产品推动了计算机普及, 并促进了 Intel、IBM、Microsoft 大发展, 具有划时代的意义。

与此同时, 摩托罗拉公司于 1971 年也开始了微处理器计划, 第一块量产型 MC6800 生产于 1974 年 2 月, 工程样品被交到了定制客户的手中。M6800 微机系统最终于 1974 年 11 月投产^{2,3}, 6800 拥有 4000 个晶体管、8 位双向数据线、16 位堆栈指针、16 位地址总线, 同 8080 相比, 6800 处理指令需要的指令周期更少, 2MHz 的 8080 处理能力尚且不如 1MHz 的 6800⁶。

1975 年, 楚克·佩德尔 (Chuck Peddle) 等人为了制造廉价 CPU 而离开摩托罗拉加入了 MOS 科技公司 (MOStek), 在那里他们开发了售价 20 美元的 MOS 6502 处理器⁷。

除了摩托罗拉及 MOS 科技公司以外, 许多其他公司也生产了 MC6800, 如仙童半导体的 F68A00S, 汤姆逊的 EF6800CM、EF6800P 及 AMI 的 S6800⁸, 这些 CPU 被称为 68000 架构 CPU。

1976 年, 斯蒂夫·乔布斯 (Steve Jobs) 和斯蒂夫·沃兹尼亚克 (Steve Wozniak) 创立苹果公司, 并在当年开发并销售基于 MOS 6502 CPU 的个人计算机 Apple I, 并于 1977 年再次设计并制造 Apple II 计算机。Apple II 计算机是一款极其成功的产品, 该产品是商业用途最广的一款计算机产品, 广泛应用于商业和教育领域。Apple II 为苹果公司带来了飞速发展, 并间接推动了摩托罗拉公司及其兼容 CPU 产品的广泛应用。

1976 年, Zilog 公司制造出一款 8 位微处理器 Zilog Z80 CPU, 与英特尔公司出产的 8080 微处理器的代码兼容。Z80 可执行为 8080 所写的 CP/M 操作系统, 并可以通过加装 Z80 扩充卡的方式在 Apple II 机器上运行相关程序。

除了 Zilog 公司外, 还有其他处理器制造商生产与 Z80 相同的产品, 如 Sharp 生产的 LH0080 与 NEC 生产的 μ PD780C。

Zilog 公司首次提出单板机的概念, 将 CPU 与相关外设设计在同一块印制电路板上, 便于二次开发和使用, Z80 扩充卡即是单板机的具体表现形式。

1.1.5 单片机的产生

在 CPU 的发展过程中, Intel 公司提出新的设计理念, 将大量外围设备和 CPU 集成在一块芯片中, 使计算机系统更小, 更容易集成进结构复杂而对体积要求严格的控制设备当中。其中最成功的是 Intel 的 8051, 此后在 8051 上发展出了 MCS51 系列单片机系统。因为简单可靠而性能良好获得了很大的好评, 直到现在基于 8051 的单片机还在广泛使用。除了 Intel 公司外, 其他的芯片制造商 (ATMEL、Philips、华邦、ADI、LG、Microchip、Freescale、TI) 也都有自己的相关单片机产品, 事实上单片机是世界上数量最多的处理器。

1.2 单片机概述

1.2.1 单片机的概念

单片机是一种集成电路芯片, 是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央



处理器CPU、随机存储器 RAM、只读存储器 ROM、多种 I/O 口和中断系统、定时器/计数器等功能（可能还包括显示驱动电路、脉宽调制电路、模拟多路转换器、A/D 转换器等电路）集成到一块硅片上构成的一个小而完善的微型计算机系统。一块芯片就成了一台计算机，它的体积小、质量小、价格便宜，为学习、应用和开发提供了便利条件。世界上各大芯片制造公司都推出了自己的单片机，从 8 位、16 位到 32 位，数不胜数，应有尽有，各具特色，互成互补，为单片机的应用提供了广阔的天地。

1.2.2 单片机的特点

1. 高集成度

单片机将各功能部件集成在一块晶体芯片上，集成度很高，体积自然很小，便于二次开发使用。

2. 高可靠性

芯片本身是按工业测控环境要求设计的，内部布线很短，其抗工业噪声性能较优，单片机程序指令、常数及表格等固化在 ROM 中不易破坏，因此可靠性高。

3. 控制功能强

为了满足对象的控制要求，单片机具有丰富的指令系统、I/O 口操作及位处理功能，适用于专门的控制功能。

4. 易于扩展

单片机片内具有计算机正常运行所必需的部件，而芯片外部具有总线及并行、串行、输入/输出端口，便于构成各种规模的计算机系统应用。

5. 高性价比

单片机具有极高的性能价格比。一方面，为了提高速度和运行效率，单片机已开始使用 RISC 流水线和 DSP 等技术，寻址能力也已突破 64KB 的限制，片内的 ROM 容量可达 62MB，RAM 容量则可达 2MB。另一方面，由于单片机的广泛使用，产品销量极大，因此成本低，激烈的商业竞争更使其价格低廉，其性能价格比极高。

1.2.3 单片机的发展趋势

1. 更低功耗

MCS-51 系列推出时的功耗达 630mW，而现在的单片机普遍都在 100mW 左右，随着对单片机功耗要求越来越低，现在的各个单片机制造商均致力于开发超低功耗的单片机产品，适合于在要求低功耗、电池供电的应用场合，因此这将是今后一段时期单片机发展的主要途径。

2. 更集成化

现在的单片机普遍将中央处理器（CPU）、随机存取数据存储器（RAM）、只读程序存储



器 (ROM)、并行和串行通信接口、中断系统、定时电路、时钟电路集成在一块单一的芯片上, 增强型的单片机集成了 A/D 转换器、PMW (脉宽调制电路)、WDT (看门狗) 等特殊功能部件, 有些单片机将 LCD 电路都集成在单一的芯片上, 单片机包含的功能电路越来越多。随着计算机及其接口技术的进一步发展, 更多的功能部件将集成到单片机内部, 使得单片机的集成化更高。

3. 多种产品共存

现在单片机的品种繁多, 以 80C51 及其兼容产品的单片机虽然占主流, 但其他公司的单片机产品同样发展迅速。Microchip 公司的 PIC 单片机由于其精简指令集 (RISC) 也有着强劲的发展势头, TI 公司的 MSP430 系列单片机由于其超低功耗也占据了一定的市场份额, 此外 Freescale 公司的产品, 日本几大公司的专用单片机在市场上也具有较大的影响力。在一定的时期内, 这种情形将得以延续, 各种单片机产品将在市场上互为补充, 共同发展。

4. 大容量、高性能

传统的单片机产品片内的 ROM 为 1~4KB, RAM 为 64~128B。但在需要复杂控制的环境中该存储容量是不够的, 必须外接扩展。目前, 单片机内 ROM 可达 64KB, RAM 可达 2KB。另外, 单片机内部 CPU 的性能将进一步提高, 加快指令运算的速度并提高系统控制的可靠性。

5. 串行扩展技术

传统单片机通过总线结构扩展外围器件成为单片机应用的主流结构。随着外围接口技术的不断丰富, 特别是 I²C、SPI 等串行总线的引入, 可以使单片机的串行结构技术更为先进, 同时也可以使得单片机在结构上引脚设计得更少, 更加简化及规范化。

1.2.4 应用范围

单片机广泛应用于智能仪器、工业控制、家用电器、网络通信、医疗设备、汽车电子等领域。

1. 智能仪器

单片机体积小、功耗低, 广泛应用于仪器仪表中, 配合不同类型的传感器, 可实现诸如电压、电流、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、元素、压力等物理量的测量。

2. 工业控制

单片机体积小、控制功能强、环境适应能力强, 用单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统、通信系统、信号检测系统、无线感知系统、测控系统、机器人等应用控制系统。

3. 家用电器

家用电器中也可以广泛采用单片机控制, 从电饭煲、洗衣机、电冰箱、空调机、彩电、