

玩 转
单片机

AVR单片机

C语言
非常入门
与视频演练

刘建清 编著

电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

玩转单片机

AVR 单片机 C 语言非常入门 与视频演练

刘建清 编著

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书简要介绍了 AVR 单片机 C 语言的基础知识、实验器材和实验方法,并演练了大量适宜初学者入门的典型实例。为方便读者实验,针对本书的所有实例,开发了 AVR-51 转换板和 DD-900mini 实验板,并以视频的方式记录了书中主要实验的演示过程和现象。需要说明的是,DD-900mini 实验板是针对 51 单片机的,但是,通过外接一个“AVR-51 转换板”,就可以让 DD-900mini 摇身变成“AVR 开发板”,当然,如果读者手头有其他 51 实验板,也同样可以让自己的 51 实验板变成“AVR 开发板”,这会节约不少开支。

本书语言通俗,实例丰富,图文并茂,简单明了,适合 AVR 单片机爱好者和初学者学习,也可作为中等专业技术学校、中等职业学校的教学用书。

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

AVR 单片机 C 语言非常入门与视频演练/刘建清编著. —北京:电子工业出版社,2012.1
(玩转单片机)

ISBN 978-7-121-15060-9

I. ①A… II. ①刘… III. ①单片微型计算机—C 语言—程序设计 IV. ①TP368.1②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 231725 号

责任编辑:康霞 特约编辑:刘忠

印 刷:北京丰源印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

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:13.75 字数:352 千字

印 次:2012 年 1 月第 1 次印刷

定 价:39.00 元(含 DVD 光盘 1 张)

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

单片机就是把一个计算机系统集成到一块芯片上,概括地讲,一块芯片就成了一台计算机。目前市场上流行的单片机,价格是出奇的便宜。只要玩起了单片机,你就会有一种成就感:我怎么这样聪明。单片机再结合适当的硬件接口电路,有什么事情做不到呢?我对它的评价是八个字:“软硬兼施,老少皆宜”。

单片机虽然好玩,但很多人经过一番探索之后却深感学好单片机并非易事,甚至连入门都感到困难。作者也是从电子爱好者成长为工程师的,此过程自然少不了学习、探索、实践、再学习、再实践这样一条规律,因此深切地知道学单片机难,主要是不得要领,难以入门。一旦找到学习的捷径,入了门,掌握简单程序的编写方法并观察到实际演示效果,那么必然信心大增。接下来,再向深度、广度进军时,心里就比较坦然了,最终能够一步一个脚印地去扩展自己的知识面,成为单片机的应用高手。

在与众多的单片机爱好者交流中得知,单纯讲单片机内部结构、指令太枯燥,且不易理解,他们感兴趣的是单片机编程的应用实例,而且主要喜欢简单、实用、有趣的初级实例。因此,编写本书的思路:以实战演练为主线贯穿全书,且多数实例采用视频的方式进行演示。这样,初学者能够看得清、听得到、学得快,从而达到很好的立体学习效果。

在内容安排上,本书通过 AVR 单片机内部资源(I/O 口、中断系统、定时/计数器、串口通信)、键盘接口、LED 数码管显示、LCD 液晶显示、DS1302 时钟芯片、I²C 总线接口芯片 AT24C04、DS18B20 温度传感器、红外遥控等大量具体的实例,系统演练了 AVR 单片机中最常用、最典型的接口应用。另外,本书也包括了一些作者在学习和实际设计过程中总结的经验及方法,希望能够帮助大家更好地学习 AVR 单片机。

本书安排的实例大部分是由作者编写的,有一些是参考相关资料改写的,全部程序都由作者调试并通过。对于实例的使用说明也尽量详细,力争让读者“看则能用,用则能成”,保证读者在动手的过程中常常体会到成功的乐趣。另外,书中的所有实例,都基于作者设计的 AVR-51 转换板+DD-900mini 实验板,书中附带的光盘包含所有实验的完整源程序、视频演示和工具软件。

本书主要面向具有一定 C 语言基础或刚接触 AVR 单片机的电子爱好者,对于已经熟悉 AVR 单片机 C 语言开发的工程师则意义不大。

在本书编写过程中,参阅了《无线电》、《单片机与嵌入式系统应用》等书刊,并从互联网上搜索了一些有价值的资料,由于其中的很多资料经过多次转载,已经很难查到原始出处,在此谨向资料提供者表示感谢。

参与本书编写的人员有刘建清、贾绪岩、李凤伟、陈素侠、孙保书、刘为国等,最后由刘建清先生定稿。由于编著者水平有限,加之时间仓促,书中难免会有疏漏和不足之处,恳请专家和读者不吝赐教。

如果在使用本书的过程中有任何问题、意见或建议,请登录 ddmcu.taobao.com 或通过 E-mail: ddmcu@163.com 向我们提出,我们将提供超值的延伸服务。

编著者

2011 年 12 月

目 录

第 1 章 AVR 单片机非常入门	1
1.1 AVR 单片机介绍	1
1.1.1 学习 AVR 单片机的目的	1
1.1.2 常用 AVR 单片机介绍	2
1.1.3 AVR 单片机型号的识别	3
1.1.4 ATmega16 的组成	3
1.1.5 ATmega16 的引脚功能	4
1.1.6 AVR 单片机基本硬件电路	5
1.2 AVR 单片机 C 语言入门	8
1.2.1 认识 C 语言	8
1.2.2 简单的 C 语言程序	9
第 2 章 AVR 单片机实验器材介绍及实验过程演练	12
2.1 AVR 单片机实验器材介绍	12
2.1.1 AVR-51 转换板介绍	12
2.1.2 DD-900mini 实验板介绍	13
2.2 AVR 单片机下载器的使用	19
2.2.1 下载编程器与 DD-900mini 实验板的连接	19
2.2.2 ISP 下载器驱动程序的安装	19
2.2.3 ISP 下载软件的使用	21
2.3 AVR 单片机 JTAG 仿真器的组成与使用	23
2.3.1 JTAG 仿真器的组成	23
2.3.2 JTAG 仿真器的使用	24
2.4 AVR 单片机开发软件的安装	25
2.5 AVR 单片机实验过程演练	25
2.5.1 硬件电路	25
2.5.2 用 IAR AVR 软件编写和编译程序	26
2.5.3 用 IAR AVR 软件进行仿真	34
2.5.4 用 ISP 软件下载程序	37
2.6 熔丝位设置技巧	37
2.6.1 正确配置 AVR 的熔丝位	37

2.6.2 AVRmega16 单片机中重要熔丝位的配置	38
2.6.3 JTAG 口的使用与配置	41
第 3 章 AVR 单片机 C 语言学习与演练	43
3.1 标识符和关键字	43
3.1.1 标识符	43
3.1.2 关键字	43
3.2 数据类型介绍与演练	44
3.2.1 数据类型介绍	44
3.2.2 数据类型演练	45
3.3 常量、变量介绍与演练	46
3.3.1 常量	46
3.3.2 变量	48
3.3.3 常量与变量演练	49
3.4 运算符、表达式介绍与演练	49
3.4.1 运算符、表达式介绍	49
3.4.2 运算符、表达式演练	55
3.5 C 语言基本语句介绍与演练	57
3.5.1 表达式语句和复合语句	58
3.5.2 条件选择语句	58
3.5.3 循环语句	60
3.5.4 C 语言基本语句演练	63
3.6 C 语言函数介绍与演练	69
3.6.1 函数概述	69
3.6.2 函数的参数和返回值	70
3.6.3 函数的调用	71
3.6.4 局部变量和全局变量	72
3.6.5 变量的存储种类	73
3.6.6 中断函数的实现	74
3.6.7 函数演练	74
3.7 C 语言数组和指针介绍与演练	75
3.7.1 数组介绍	75
3.7.2 指针介绍	78
3.7.3 数组与指针演练	82
第 4 章 AVR 单片机内部资源视频演练	84
4.1 AVR 单片机 I/O 口结构	84
4.1.1 51 单片机 I/O 口的结构	84
4.1.2 AVR 单片机 I/O 口的结构	85
4.1.3 AVR 单片机 I/O 口的配置	86

4.1.4	I/O 口的第二功能	88
4.2	中断系统介绍与实例解析	89
4.2.1	中断系统基本知识	89
4.2.2	中断系统实例解析	93
4.3	定时/计数器介绍与实例解析	97
4.3.1	8 位定时/计数器 T/C0	97
4.3.2	16 位定时/计数器 T/C1	102
4.3.3	8 位定时/计数器 T/C2	108
4.3.4	定时/计数器实例解析	113
4.4	串行通信介绍与实例解析	121
4.4.1	串行通信简介	121
4.4.2	ATmega16 串口的结构	122
4.4.3	单片机的串口电平转换电路	122
4.4.4	串行通信寄存器介绍	123
4.4.5	串行通信实例解析	127
第 5 章	键盘接口电路介绍与视频演练	132
5.1	键盘接口电路基本知识	132
5.1.1	键盘的工作原理	132
5.1.2	键盘与单片机的连接形式	133
5.2	键盘接口电路视频演练	133
5.2.1	实现功能	133
5.2.2	源程序	133
5.2.3	源程序解读	135
5.2.4	视频演练	135
第 6 章	LED 数码管介绍与视频演练	136
6.1	LED 数码管介绍	136
6.1.1	LED 数码管的结构	136
6.1.2	LED 数码管的显示码	137
6.1.3	LED 数码管的显示方式	138
6.2	LED 数码管视频演练	140
6.2.1	视频演练 1——数码管动态扫描演示	140
6.2.2	实例解析 2——简易数码管电子钟	144
第 7 章	LCD 显示视频演练	150
7.1	字符型 LCD 基本知识	150
7.1.1	字符型 LCD 引脚功能	150
7.1.2	字符型 LCD 内部结构	151
7.1.3	字符型 LCD 控制指令	153
7.1.4	字符型 LCD 驱动程序软件包的制作	157

7.2	字符型 LCD 视频演练	159
7.2.1	实例解析 1——1602 LCD 显示字符串	159
7.2.2	实例解析 2——1602 LCD 移动显示字符串	160
7.2.3	实例解析 3——1602 LCD 电子钟	162
第 8 章	时钟芯片 DS1302 介绍与视频演练	167
8.1	时钟芯片 DS1302 基本知识	167
8.1.1	DS1302 介绍	167
8.1.2	DS1302 的控制命令字	168
8.1.3	DS1302 的寄存器	168
8.1.4	DS1302 的数据传送方式	170
8.1.5	DS1302 驱动程序软件包的制作	170
8.2	DS1302 数码管电子钟视频演练	173
8.2.1	实现功能	173
8.2.2	源程序	173
8.2.3	源程序解读	176
8.2.4	视频演练	177
第 9 章	单片机读/写 I ² C 总线视频演练	178
9.1	I ² C 总线介绍	178
9.1.1	I ² C 总线工作原理	178
9.1.2	I ² C 总线的电气结构	179
9.1.3	I ² C 总线器件的寻址方式	179
9.1.4	I ² C 总线数据的传输规则	179
9.1.5	I ² C 总线数据的读/写格式	180
9.1.6	I ² C 总线接口芯片 24C04 介绍	181
9.1.7	I ² C 总线驱动程序软件包的制作	182
9.2	I ² C 总线接口芯片 24C04 视频演练	185
9.2.1	实现功能	185
9.2.2	源程序	186
9.2.3	源程序解读	188
9.2.4	视频演练	188
第 10 章	温度传感器 DS18B20 介绍与视频演练	189
10.1	温度传感器 DS18B20 基本知识	189
10.1.1	DS18B20 引脚功能	189
10.1.2	DS18B20 的内部结构	190
10.1.3	DS18B20 的指令	191
10.1.4	DS18B20 使用注意事项	192
10.1.5	DS18B20 驱动程序软件包的制作	192
10.2	DS18B20 视频演练	194

10.2.1	实现功能	194
10.2.2	源程序	194
10.2.3	源程序解读	197
10.2.4	视频演练	197
第 11 章 红外遥控介绍与视频演练		199
11.1	红外遥控基本知识	199
11.1.1	红外遥控系统	199
11.1.2	红外遥控的编码与解码	199
11.1.3	DD-900mini 实验板遥控电路介绍	200
11.2	红外遥控视频演练	201
11.2.1	实现功能	201
11.2.2	源程序	201
11.2.3	源程序解读	205
11.2.4	视频演练	205
参考文献		207

第 1 章 AVR 单片机非常入门

单片机又称单片微控制器，它是把一个计算机系统集成到一个芯片上。概括地讲，一块芯片就成了一台计算机。单片机技术是计算机技术的一个分支，是简易机器人的核心元件。1997 年，由 Atmel 公司挪威设计中心的 A 先生与 V 先生利用 Atmel 公司的 Flash 新技术，共同研发出 RISC 精简指令集的高速 8 位单片机，简称 AVR。相对于出现较早也较为成熟的 51 系列单片机，AVR 系列单片机片内资源更为丰富，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。在本章中，主要介绍 AVR 单片机的内部结构、外部引脚、存储器、最小系统电路等内容，并对 AVR 单片机 C 语言进行简要介绍。

1.1 AVR 单片机介绍

1.1.1 学习 AVR 单片机的目的

单片机已广泛地应用于军事、工业、家用电器、智能玩具、便携式智能仪表和机器人制作等领域，使产品功能、精度和质量大幅度提升，且电路简单，故障率低，可靠性高，成本低廉。单片机种类很多，那么，为什么要学习 AVR 单片机呢？

1. 简便易学，费用低廉

(1) 选择 AVR 单片机，进入 AVR 单片机开发的门槛非常低，只要会操作计算机就可以学习 AVR 单片机的开发。单片机初学者只需一条 ISP 下载线，把编辑、调试通过的软件程序直接在线写入 AVR 单片机，即可以开发 AVR 单片机系列中的各种封装的器件。AVR 单片机因此在业界号称“一线打天下”。

(2) AVR 单片机便于升级。AVR 程序写入是直接在电路板上进行程序修改、烧录等操作，这样便于产品升级。

(3) AVR 单片机费用低廉。学习 AVR 单片机可使用 ISP 在线下载编程方式（把 PC 上编译好的程序写到单片机的程序存储器中），即使没有仿真器、编程器和芯片适配器等设备，也可进行所有 AVR 单片机的开发应用，可以节省很多开发费用。

2. 高速、低耗、保密

(1) AVR 单片机是高速嵌入式单片机，具有预取指令功能，即在执行一条指令时，预先把下一条指令取进来，使得指令可以在一个时钟周期内执行。

(2) 多累加器型，数据处理速度快。AVR 单片机具有 32 个通用工作寄存器，相当于有 32 条立交桥，可以快速通行。

(3) 中断响应速度快。AVR 单片机有多个固定中断向量入口地址，可快速响应中断。

(4) AVR 单片机功耗低。对于典型功耗情况，WDT 关闭时为 100nA，更适用于电池供电的应用设备。有的器件最低 1.8 V 即可工作。

(5) AVR 单片机保密性能好。它具有不可破解的位加密锁 Lock Bit 技术, 保密位单元深藏于芯片内部, 无法用电子显微镜看到。

3. I/O 口功能强, 具有 A/D 转换等电路

(1) AVR 单片机的 I/O 口是真正的 I/O 口, 能正确反映 I/O 口输入与输出的真实情况。工业级产品, 具有大电流 (灌电流) 10~40mA, 可直接驱动晶闸管 SCR 或继电器, 节省了外围驱动器件。

(2) AVR 单片机内带模拟比较器, I/O 口可用做 A/D 转换, 可组成廉价的 A/D 转换器。

(3) 部分 AVR 单片机可组成零外设元件单片机系统, 使该类单片机无外加元器件即可工作, 简单方便, 成本又低。

(4) AVR 单片机可重设启动复位, 以提高单片机工作的可靠性。有看门狗定时器实行安全保护, 可防止程序跑飞, 提高了产品的抗干扰能力。

4. 有功能强大的定时/计数器及通信接口

AVR 单片机定时/计数器 T/C 有 8 位和 16 位, 可用做比较器、计数器外部中断和 PWM, 某些型号的 AVR 单片机有 3~4 个 PWM, 是作为电机无级调速的理想器件。

AVR 单片机有串行异步通信 UART 接口, 不占用定时器和 SPI 同步传输功能, 具有高速传输特性, 波特率可达 576Kb/s。

1.1.2 常用 AVR 单片机介绍

AVR 单片机系列齐全, 可适用于各种不同场合的要求。AVR 单片机主要包括 ATtiny、AT90S、ATmega 三大系列。

ATtiny 系列属低档产品, 主要型号有 tiny11/12/13/15/26/28 等, 适合功能相对单一的系统。

AT90S 系列属中档产品, 主要型号有 AT90S8515、8535 等, 适合一般系统开发。

ATmega 系列属高档产品, 主要型号有 ATmega8/16/32/64/128 等, 适合具有较高要求的系统。表 1-1 给出了 ATmega 系列中主要型号的性能参数。

表 1-1 ATmega 系列中主要型号的性能参数

型 号	ATmega8 (L)	ATmega16 (L)	ATmega32 (L)	ATmega64 (L)	ATmega128 (L)
FLASH/KB	8	16	32	64	128
EEPROM/B	512	512	1024	2048	4096
SRAM/B	1024	1024	2048	4096	4096
工作电压/V	4.5~5.5 或 2.7~5.5	4.5~5.5 或 2.7~5.5	4.5~5.5 或 2.7~5.5	4.5~5.5 或 2.7~5.5	4.5~5.5 或 2.7~5.5
16bit 定时器	1	1	1	2	2
8bit 定时器	2	2	2	2	2
PWM	3	4	4	8	8
RTC	是	是	是	是	是
SPI	1	1	1	1	1
USART	1	1	1	2	2
TWI	是	是	是	是	是
10bitA/D	8	8	8	8	8

续表

型 号	ATmega8 (L)	ATmega16 (L)	ATmega32 (L)	ATmega64 (L)	ATmega128 (L)
模拟比较器	是	是	是	是	是
看门狗	是	是	是	是	是
中断向量	18	20	19	34	34

注：后缀带 L 的芯片工作电压为 2.7~5.5V，后缀不带 L 的芯片工作电压为 4.5~5.5V。

目前，AT90 系列产品已很少用，多数使用 ATmega 系列。在本书中，将以 ATmega 系列中的 ATmega16 为例进行介绍。

另外，AVR 单片机还根据不同的应用推出了各具特色的单片机，如汽车类 AVR、CAN 总线 AVR、智能电池 AVR、LCD（液晶显示）AVR、USB 总线 AVR、灯光专用 AVR、Z-Link AVR、微型 AVR 等类型，这些单片机几乎涵盖了 8 位单片机的所有应用领域。

1.1.3 AVR 单片机型号的识别

AVR 单片机型号众多，基本上每种型号都有不同用途，每个系列 AVR 单片机芯片上都有不同的编号；如何根据芯片上的编号来识别呢？我们以“ATmega16L-8PI”为例进行说明：

- AT 表示该单片机是 Atmel 公司的产品；
- mega 表示该单片机为 ATmega 系列的单片机；
- 数字 16 表示单片机内部 Flash 容量位 16KB；
- 字母 L 表示该单片机为低功耗类型的单片机，同理如果没有 L，则表示该单片机为普通类型的单片机；
- 数字 8 表示该芯片允许的最大时钟频率为 8MHz，如果是 16 则表示允许最大时钟频率为 16MHz；
- 字母 P 表示该单片机的封装形式，P 是 DIP 封装（双列直插），A 表示有引脚扁平封装（贴片封装），M 表示无引脚扁平封装；
- 字母 I 表示该芯片的等级是工业级，芯片的使用等级一般分为商用级、工业级、军用级三个级别，这三个级别对芯片的使用环境要求各不相同，其中商用级要求最低，军用级要求最高。

1.1.4 ATmega16 的组成

ATmega16 是基于增强的 AVR RISC 结构的低功耗 8 位 CMOS 微控制器。由于其先进的指令集及单时钟周期指令执行时间，ATmega16 的数据吞吐率高达 1MIPS/MHz（MIPS 表示 M（条）指令/s），从而可以减缓系统在功耗和处理速度之间的矛盾。

ATmega16 AVR 内核具有丰富的指令集和 32 个通用工作寄存器。所有的寄存器都直接与算术逻辑单元（ALU）相连，使得一条指令可在一个时钟周期内同时访问两个独立的寄存器。这种结构大大提高了代码效率，并且具有比普通的 CISC 微控制器最高至 10 倍的数据吞吐率。

ATmega16 有如下特点：16KB 的系统内可编程 Flash，512 字节 EEPROM，1KB SRAM，32 个通用 I/O 口线，32 个通用工作寄存器，用于边界扫描的 JTAG 接口，支持片内调试与编程，3 个具有比较模式的灵活的定时/计数器（T/C），片内/外中断，可编程串行 USART，通用两线串行接口，8 路 10 位具有可选差分输入级可编程增益的 A/D 转换器（ADC），具有片内振荡器的可编程看门狗定时器，一个 SPI 串行端口及 6 个可以通过软件进行选择的省电模式，如图 1-1 所示为 ATmega16 的内部组成框图。

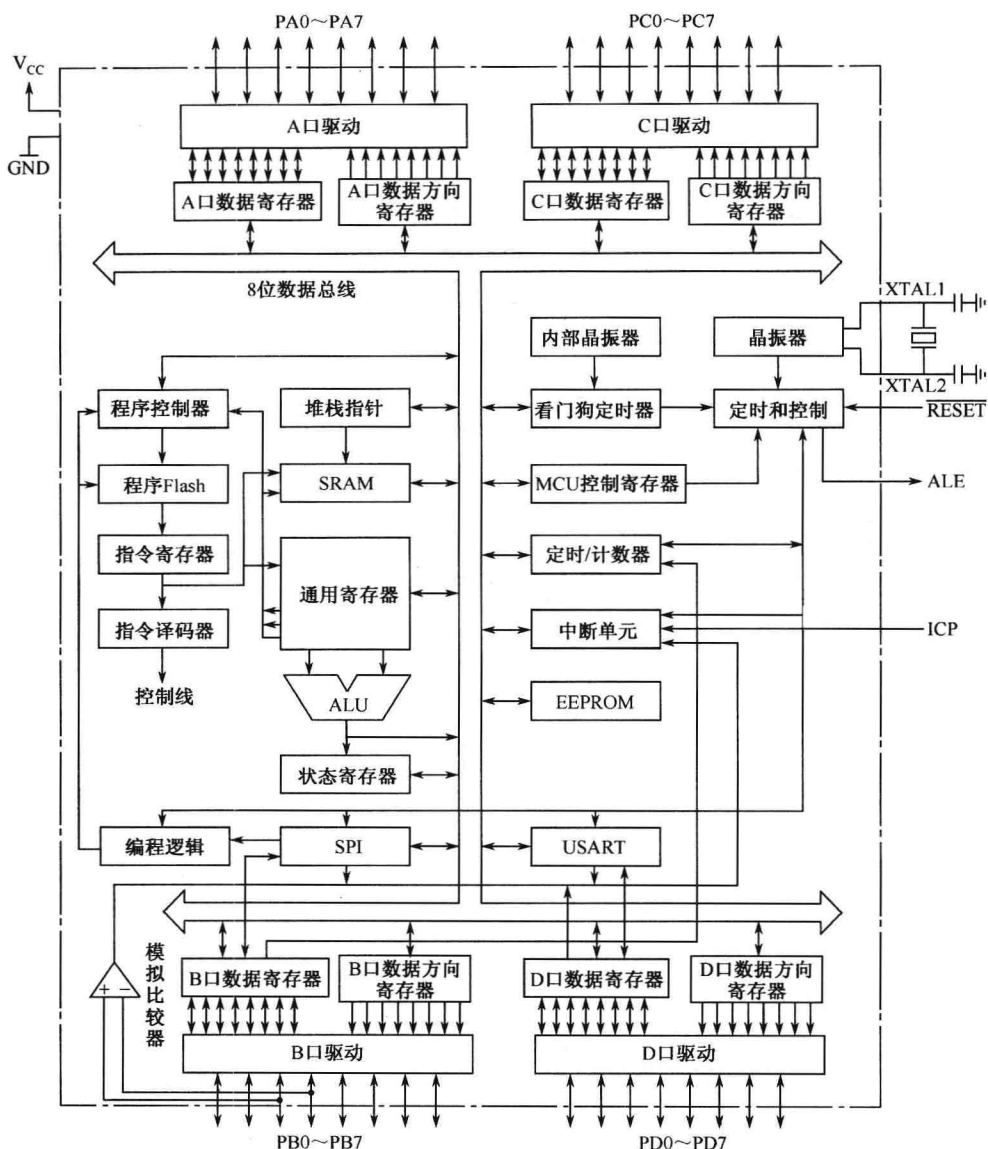


图 1-1 ATmega16 内部组成框图

1.1.5 ATmega16 的引脚功能

ATmega16 有两种封装形式：一种是 40 脚封装的 DIP40；另一种是 44 脚封装的 TQFP44。其引脚功能如图 1-2 所示。

- ① V_{CC} ：电源正。
- ② GND：电源地。

③ 端口 A (PA7~PA0)：端口 A 为 8 位双向 I/O 口，具有可编程的内部上拉电阻。其输出缓冲器具有对称的驱动特性，可以输出和吸收大电流。作为输入使用时，若内部上拉电阻使能，端口被外部电路拉低时将输出电流。在复位过程中，端口 A 处于高阻状态；端口 A 的第二功能是作为 A/D 转换器的模拟输入端。

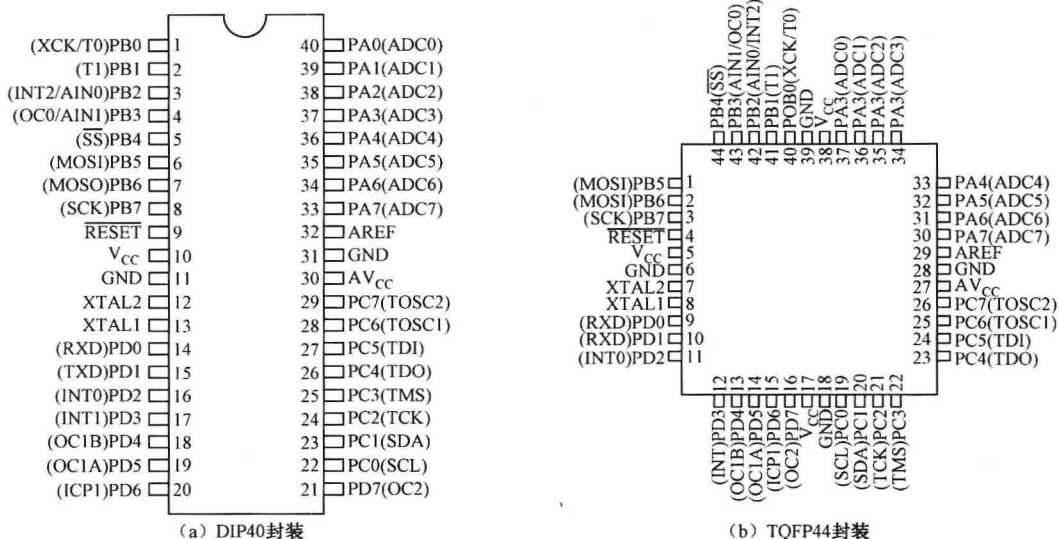


图 1-2 ATmega16 的两种封装形式

④ 端口 B (PB7~PB0): 端口 B 为 8 位双向 I/O 口, 具有可编程的内部上拉电阻。其输出缓冲器具有对称的驱动特性, 可以输出和吸收大电流。作为输入使用时, 若内部上拉电阻使能, 端口被外部电路拉低时将输出电流。在复位过程中, 端口 B 处于高阻状态。端口 B 还可用于其他不同的用途, 具体情况将在后面章节中进行介绍。

⑤ 端口 C (PC7~PC0): 端口 C 为 8 位双向 I/O 口, 具有可编程的内部上拉电阻。其输出缓冲器具有对称的驱动特性, 可以输出和吸收大电流。作为输入使用时, 若内部上拉电阻使能, 端口被外部电路拉低时将输出电流。在复位过程中, 端口 C 处于高阻状态。如果 JTAG 接口使能, 引脚 PC5 (TDI)、PC3 (TMS) 与 PC2 (TCK) 的上拉电阻被激活。端口 C 还可用于其他不同的用途, 具体情况将在后面章节中进行介绍。

⑥ 端口 D (PD7~PD0): 端口 D 为 8 位双向 I/O 口, 具有可编程的内部上拉电阻。其输出缓冲器具有对称的驱动特性, 可以输出和吸收大电流。作为输入使用时, 若内部上拉电阻使能, 则端口被外部电路拉低时将输出电流。在复位过程中, 端口 D 处于高阻状态。端口 D 还可用于其他不同的用途, 具体情况将在后面章节中进行介绍。

⑦ RESET: 复位输入引脚。持续时间超过最小阈值时间的低电平将引起系统复位, 持续时间小于阈值间的脉冲不能保证可靠复位。

⑧ XTAL1: 反向振荡放大器与片内时钟操作电路的输入端。

⑨ XTAL2: 反向振荡放大器的输出端。

⑩ AVCC: 端口 A 与 A/D 转换器的电源。不使用 A/D 转换器时, 该引脚应直接与 V_{CC} 连接。使用 A/D 转换器时应通一个低通滤波器与 V_{CC} 连接。

⑪ AREF: A/D 转换器的模拟基准输入引脚。

1.1.6 AVR 单片机基本硬件电路

AVR 单片机基本硬件电路包括电源、晶振、复位、A/D 转换滤波、ISP 下载接口、JTAG 仿真接口等 6 部分, 如图 1-3 所示为 ATmega16 基本硬件电路原理图。其中, 电源、晶振和复位电路称为最小系统电路。

图 1-3 ATmega16 基本硬件电路原理图

1. 电源

AVR 单片机最常用的是 5V 与 3.3V 两种电源。如果采用 ATmega16，需要 5V 供电；如果采用 ATmega16L，需要 5V 或 3V 供电均可。

2. 晶振电路

ATmega16 已经内置 RC 振荡线路，可以产生 1MHz、2MHz、4MHz、8MHz 的振荡频率。不过，内置的毕竟是 RC 振荡，在一些要求较高的场合，例如，要与 RS-232 通信需要比较精确的波特率时，建议使用外部的晶振线路。

早期的 90S 系列，晶振两端均需要接 22pF 左右的电容。ATmega 系列实际使用时，这两只小电容不接也能正常工作。不过为了线路的规范化，仍建议接上。

实际应用时，如果不需要太高精度的频率，可以使用内部 RC 振荡。即这部分不需要任何的外围零件。

3. 复位电路

51 单片机采用的是高电平复位，而 AVR 单片机采用的则是低电平复位。

ATmega16 已经内置了上电复位设计，并且在熔丝位里，可以控制复位时的额外时间，故 AVR 外部的复位线路在上电时，可以设计得很简单：直接连接一个 10kΩ 的电阻到 V_{CC} 即可 (R0)。为了可靠，再加上一只 0.1μF 的电容 (C0) 以消除干扰、杂波。

电路中，D3 (1N4148) 的作用有两个：一是将复位输入的最高电压钳在 $V_{CC}+0.5V$ 左右；二是系统断电时，将 R0 (10kΩ) 电阻短路，让 C0 快速放电，在下次来电时，能产生有效的复位。

当 AVR 在工作时，按下 RESET 开关时，复位脚变成低电平，触发 AVR 芯片复位。

实际应用时，如果不需要复位按钮，复位脚可以不接任何的零件，AVR 芯片也能稳定工作，即这部分不需要任何的外围零件。

4. A/D 转换滤波电路

为减小 A/D 转换的电源干扰，ATmega16 芯片有独立的 AD 电源供电。官方文档推荐在 V_{CC} 接上一个 10μH 的电感 (L1)，然后再接一只 0.1μF 的电容到地 (C3)。

ATmega 内带 2.56V 标准参考电压。也可以从外面输入参考电压，如在外面使用 TL431 基准电压源，不过一般的应用使用内部自带的参考电压已经足够。习惯上在 AREF 脚接一只 0.1μF 的电容到地 (C4)。

需要说明的是，如果想简化线路，可以将 AV_{CC} 直接接到 V_{CC} ，AREF 悬空。即这部分不需要任何的外围零件。

5. ISP 下载接口

ISP 下载接口不需要任何的外围零件。使用双排 2×5 插座。由于没有外围零件，故 PB5 (MOSI)、PB6 (MISO)、PB7 (SCK)、复位脚仍可以正常使用，不受 ISP 的干扰。

实际应用时，如果想简化零件，可以不焊接 2×5 插座。但在 PCB 设计时最好保留这个空位，以便以后升级 AVR 内的软件。

6. JTAG 仿真接口

JTAG 是一种国际标准 (IEEE 1149.1 兼容)。标准的 JTAG 接口是 4 线，即 TMS、TCK、TDI、TDO，分别为模式选择、时钟、数据输入和数据输出线。

JTAG 仿真接口也是使用双排 2×5 插座。需要 4 只 10kΩ 的上拉电阻。实际应用时，如果不想使用 JTAG 仿真，并且不想受 4 只 10kΩ 的上拉电阻的影响，可以将 JP1~JP4 断开。

1.2 AVR 单片机 C 语言入门

AVR 单片机的编程语言主要有两种：一是汇编语言；二是 C 语言。汇编语言的机器代码生成效率很高，但可读性却并不强，复杂一点的程序就更是难读懂；而虽然 C 语言机器代码生成效率不如汇编语言，但可读性和可移植性却远远超过汇编语言。因此，开发 AVR 单片机，采用的一般都是 C 语言。

1.2.1 认识 C 语言

1. C 语言的特点

C 语言是一种结构化语言，它层次清晰，便于按模块化方式组织程序，易于调试和维护。C 语言的表现能力和处理能力极强，它不仅具有丰富的运算符和数据类型，便于实现各类复杂的数据结构，它还可以直接访问内存的物理地址，进行位（bit）一级的操作。由于 C 语言实现了对硬件的编程操作，因此，C 语言集高级语言和低级语言的功能于一体，效率高，可移植性强，特别适合单片机系统的编程与开发。

2. 单片机采用 C 语言编程的好处

与汇编语言相比，C 语言在功能上、结构性、可读性、可维护性上有明显的优势，因而易学易用。用过汇编语言后再使用 C 语言来开发，体会更加深刻。下面简要说明单片机采用 C 语言编程的几点好处。

（1）语言简洁，使用方便灵活

C 语言是现有程序设计语言中规模最小的语言之一，C 语言的关键字很少，ANSI C 标准只有 32 个关键字，9 种控制语句，压缩了一切不必要的成分。C 语言的书写形式比较自由，表达方法简洁，使用一些简单的方法就可以构造出相当复杂的数据类型和程序结构。同时，目前几乎所有单片机都有相应的 C 语言级别的仿真调试系统，调试十分方便。

（2）代码编译效率较高

目前，较好的 C 语言编译系统编译出来的代码效率只比直接使用汇编低 20% 左右，如果使用优化编译选项甚至可以更低。况且，AVR 系列单片机片上 ROM 空间可以做得很大，代码效率所差的 20% 已经不是一个重要问题。

（3）无须深入理解单片机内部结构

采用汇编语言进行编程时，编程者必须对单片机的内部结构及寄存器的使用方法十分清楚；在编程时，一般还要进行 RAM 分配，稍不小心，就会发生变量地址重复或冲突。

采用 C 语言进行设计，不必对单片机硬件结构有很深入的了解，编译器可以自动完成变量存储单元的分配，编程者可以专注于应用软件部分的设计，大大加快了软件的开发速度。

（4）可进行模块化开发

C 语言是以函数作为程序设计的基本单位的，C 语言程序中的函数相当于汇编语言中的子程序。各种 C 语言编译器都会提供一个函数库，此外，C 语言还具有自定义函数的功能，用户可以根据需要编制满足某种特殊需要的自定义函数（程序模块），这些程序模块可不经修改，直接被其他项目所用。因此，采用 C 语言编程，可以最大程度地实现资源共享。