



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

电子设计

教程

黄根春 陈小桥 张望先 编著
柯亨玉 主审



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

电子设计教程

黄根春 陈小桥 张望先 编著
柯亨玉 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书从实际要求出发,简明而系统地介绍了仿真设计软件的使用(Wave 和 Quartus II 等),根据大学生的知识结构和实践能力,详细介绍了常用器件的使用,典型单元电路、应用技术和算法,并对各类系统设计和抗干扰措施进行了详细的分析。书中设计实例附有完整的电路结构和参数,提供的电路全部经过验证。为方便教学,本书配有电子课件。

本书可作为电子信息与电气学科专业的课程设计、毕业设计的参考书,也可作为大学生电子设计竞赛训练的参考书。

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

电子设计教程/黄根春,陈小桥,张望先编著. —北京:电子工业出版社,2007.8

(电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业)

ISBN 978-7-121-04826-5

I. 电… II. ①黄… ②陈… ③张… III. 电子电路—电路设计:计算机辅助设计—高等学校—教材
IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 121885 号

策划编辑:章海涛

责任编辑:张 濮

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

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:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:454 千字

印 次:2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价:25.00 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。

序

随着微电子技术和计算机技术的发展,现代电子信息系统的功能实现、信息采集处理和应用的方 式发生了根本性的变化,这对当今大学电子信息类学科专业人才的培养提出了严峻挑战。如何培养理论基础扎实、创新能力强、综合素质高的人才成为电子信息类教学改革的重要目标。

大学生电子设计竞赛是由教育部高等教育司、信息产业部人事司共同主办的面向大学生的群众性科技活动。目的在于推动全国普通高等学校电子信息类学科课程体系和课程内容的改革,培养大学生的创新能力、协作精神和理论联系实际的学风,提高学生针对实际问题进行电子设计制作的能力。如何利用这一平台实现电子大赛的目的是我国高等学校共同关心的事情。

自 1995 年全国大学生电子设计竞赛设立以来,武汉大学将大赛训练作为学生能力和素质培养的重要组成部分,并进行了不懈的探索。实践证明,这一探索是有益的,不仅较好地实现了创新性的学习、个性和兴趣的培养,同时也全面提高了我校电子信息类专业学生的工程实践能力、知识应用能力和综合素质。

我校黄根春、陈小桥等老师从事电子设计训练工作已十余年。在进行大赛训练指导的同时,不断探索通过大赛训练提高大学生的实践能力、创新精神和综合素质的新途径。经过数年的实践和探索,总结出了成体系的训练内容和训练方案,每届竞赛后又根据赛事的发展和同学的反馈,对训练体系做出调整。十年已降,积累已蔚为可观。而今欣闻他们已将这些心血诉诸笔端,相信这对广大电子设计爱好者和电子设计竞赛的参赛学生与教练都有参考价值。

在本书即将付梓之际,是以为序。

武汉大学 柯亨玉

2007 年 7 月

前 言

与课程实验不同,电子设计的目的是以系统设计为主,引导学生逐步走进电子设计领域。在开设电子设计课程以前,学生们在临近毕业时都会担心,自己毕业后能干什么,觉得自己什么都不会。原因是他们在大学期间没有真正做过一次系统的设计。不了解过程,不会调试,最困惑的是不知从何做起。本书的目的就在于帮助学生掌握相关知识,使他们明确从什么地方开始做起,做些什么,引导他们走向成功之路。

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,根据武汉大学电子设计培训讲义改编而成。从2001年起至今,武汉大学培训的学生在3届全国大学电子设计竞赛中已获得17个全国一等奖。本书以全国大学生电子设计竞赛所需要掌握的知识点为基础,内容上由浅入深,循序渐进,实用性、模块化、层次化的设计思想贯穿始终,着重培养学生的软、硬件协同设计能力,综合分析问题的能力以及创新性思维能力。

全书共分6章。第1章是软件使用介绍,介绍了单片机集成开发环境 Wave 与 Keil 和 FPGA 集成开发环境 Quartus II。第2章是常用器件使用介绍,包括集成运算放大器、A/D 转换器、D/A 转换器、集成 DDS 芯片、LCD 显示器、传感器等器件。第3章是典型应用电路,包括限幅放大、锁相、峰值、有效值检测、AGC、功率放大、步进电机驱动等电路。第4章是典型应用技术,介绍 DDS、等精度测频、相位测量、峰值、有效值检测、交流功率控制等实用技术。第5章简要介绍典型算法,包括数字 PID 控制算法、大林算法、模糊控制算法、运动控制算法、数据压缩算法等。第6章是系统设计,在掌握了前面的基础知识后,本章通过13个具体的系统设计来巩固和提高实战能力。附录介绍了常用抗干扰技术,并对 8051&Cyclone EVM 开发板进行了说明。

本书可作为大学生课程设计和毕业设计的参考书,也可以作为电子技术人员的参考书。本着为读者负责的态度,本书中提供的电路及参数都经过实验的验证,初学者完全可以效仿。但是由于实验条件的差异性,实验结果可能会有一定的偏差,属正常现象。此外,读者在实践的过程中,不必拘泥于书中所述的方法,可以大胆创新,提出更优的方法。

本书在编写过程中,得到了武汉大学电子信息学院领导和老师的关怀和大力支持,学院实验中心和电子设计训练基地为实验的验证提供了极大的便利,同时还得到了朱壮辉、杨旻、孔鹏、裴彦杰等大赛获奖同学的帮助。全书由柯亨玉教授主审,他为本书提出了许多宝贵意见,在此一并表示诚挚的谢意。

由于时间仓促,有些领域没有涉及,主要是验证不及,唯恐有错,不能贸然收录。限于作者水平,书中难免有不妥和不完善之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

于珞珈山麓

目 录

第 1 章 软件使用介绍	1
1.1 Wave 使用介绍	1
1.1.1 仿真器介绍	1
1.1.2 软件安装步骤	1
1.1.3 软件使用介绍	2
1.1.4 开发流程	17
1.2 Keil 使用介绍	19
1.2.1 Keil 简介	19
1.2.2 开发流程	19
1.2.3 调试与汇编	23
1.2.4 Keil C 编译器常见警告与错误信息的解决方法	25
1.3 AT89S52 在系统调试的原理与实现	26
1.3.1 Isd51 简介	26
1.3.2 Isd51 使用方法	27
1.3.3 Isd51 原理分析	29
1.4 Quartus II 使用介绍	29
1.4.1 Quartus II 基本设计流程	30
1.4.2 设计输入的方式	32
1.4.3 工程项目的建立	33
1.4.4 项目管理	35
1.4.5 设计输入	35
1.4.6 编译	38
1.4.7 仿真	42
1.4.8 配置和下载	42
第 2 章 常用器件使用介绍	44
2.1 集成运算放大器的使用	44
2.1.1 运算放大器结构分析	44
2.1.2 精密型集成运算放大器	45
2.1.3 宽带集成运算放大器	46
2.1.4 通用集成运算放大器	46
2.1.5 滤波器的实现	47
2.1.6 小结	48
2.2 AD620 的使用及性能分析	49
2.2.1 AD620 介绍	49
2.2.2 AD620 应用	50
2.3 常用 A/D 转换芯片	51
2.3.1 A/D 转换器的选择与使用	51
2.3.2 A/D 转换芯片——ADC0809	53
2.3.3 A/D 转换芯片——AD574	55

2.3.4 A/D 转换芯片——MAX197	57
2.3.5 A/D 转换芯片——TLC5510	60
2.3.6 A/D 转换芯片——MAX114、MAX118	63
2.4 常用 D/A 转换芯片	65
2.4.1 D/A 转换芯片——DAC0832、DAC0800	65
2.4.2 D/A 转换芯片——MX7228	69
2.5 集成 DDS 芯片 AD9851	70
2.5.1 AD9851 概述	70
2.5.2 AD9851 引脚说明	71
2.5.3 AD9851 特性介绍	72
2.5.4 AD9851 的控制原理	72
2.5.5 AD9851 在信号源中的应用	73
2.5.6 小结	74
2.6 LCD 的应用	74
2.6.1 字符型液晶显示器	74
2.6.2 点阵式液晶显示器	79
2.7 传感器	86
2.7.1 常用传感器介绍	86
2.7.2 超声波传感器及其应用	90
第 3 章 典型应用电路	94
3.1 限幅放大电路	94
3.2 运放参数测试电路	95
3.2.1 运放参数测量介绍	95
3.2.2 辅助运放法通用测量电路设计	97
3.3 锁相技术原理与应用	98
3.3.1 锁相环概述	98
3.3.2 锁相环应用举例	98
3.3.3 集成锁相环芯片介绍	100
3.4 峰值、有效值测量的模拟实现	103
3.4.1 峰值检波电路	103
3.4.2 真有效值检波	103
3.5 自动增益控制电路	105
3.5.1 场效应管和运放实现	105
3.5.2 单片机控制实现	106
3.5.3 可变增益放大器实现	106
3.6 功率放大电路	109
3.7 步进电机驱动与控制	111
3.7.1 步进电机概述	111
3.7.2 步进电机的控制原理	112
3.7.3 步进电机的控制	112
3.7.4 步进电机的驱动电路	113
3.8 手写板技术及其在单片机系统中的应用	114
3.8.1 手写板工作原理	114

3.8.2	手写板解码	115
3.8.3	手写板与单片机的硬件连接	115
3.8.4	手写板实现的软件设计	117
3.8.5	手写板功能扩展	117
第4章	典型应用技术	119
4.1	频率合成与 DDS	119
4.1.1	信号产生方案与原理	119
4.1.2	DDS 理论设计	120
4.1.3	DDS 实现	121
4.2	等精度频率计的实现	121
4.2.1	频率测量方案	121
4.2.2	相关计数测频法的实现	122
4.2.3	宽带高精度测频的实现	123
4.3	相位测量技术	124
4.3.1	波形分析法	124
4.3.2	相位-电压转换法	124
4.3.3	计数法	125
4.3.4	相位测量的实现	126
4.4	峰值、有效值测量的数字实现	127
4.4.1	数字法实现峰值测量的原理	127
4.4.2	数字法实现有效值测量的原理	128
4.4.3	峰值、有效值测量小结	129
4.5	交流功率控制技术	129
4.5.1	调功法	129
4.5.2	调相法	129
第5章	典型算法	131
5.1	数字 PID 控制算法	131
5.1.1	PID 控制系统简介	131
5.1.2	PID 参数控制效果分析	132
5.1.3	数字 PID 控制的实现	132
5.1.4	PID 算法的饱和特性	133
5.1.5	PID 参数整定方法	134
5.2	大林算法	137
5.3	模糊控制算法	138
5.3.1	模糊控制概述	138
5.3.2	模糊控制原理	138
5.3.3	模糊控制器设计	139
5.3.4	小结	139
5.4	运动控制算法	140
5.4.1	产生线段的整数 Bresenham 算法	140
5.4.2	产生圆的整数 Bresenham 算法	142
5.5	其他控制算法	145
5.6	压缩算法	145

5.6.1 无损压缩	146
5.6.2 有损压缩	146
5.6.3 压缩算法的应用	148
5.7 软件滤波	149
第6章 系统设计	152
6.1 控制类系统设计	152
6.1.1 水温控制系统	152
6.1.2 悬挂运动控制系统	157
6.1.3 电梯控制模型	162
6.2 仪器类系统设计	164
6.2.1 函数信号发生器	164
6.2.2 简易远程心电监护系统	169
6.2.3 低频相位测量仪	177
6.2.4 宽带放大器	179
6.2.5 简易数字频谱分析仪	186
6.2.6 集成运放参数测试仪	192
6.2.7 简易数字存储示波器	201
6.3 其他类系统设计	206
6.3.1 电话自动接听系统	206
6.3.2 简易智能小车	210
6.3.3 单工无线呼叫系统	216
附录 A 常用抗干扰技术	235
附录 B 8051 & Cyclone EVM 板使用说明	241
附录 C 部分程序示例	252
参考文献	270

第 1 章 软件使用介绍

CAD (Computer Aided Design) 是计算机辅助设计的简称, 主要特点表现为设计速度快并且准确。在电子设计中, 需要用到很多 CAD 软件, 如 Wave、Keil、Quartus II、Protel 等。通过使用这些软件, 可以实现电路设计、仿真及可编程逻辑器件的编辑、系统控制中心的软件编写与仿真等功能, 简化了系统设计, 提高了设计效率。本章先对这些软件的使用进行简要介绍, 以便在以后的电子设计中有所应用。

1.1 Wave 使用介绍

常用的电子设计系统都是由单片机作为系统控制核心的开发系统, 这种开发系统都需要集成开发环境的支持。常用的集成开发环境有 Keil 51 和 Wave, 其中 Wave 是南京伟福实业有限公司开发的集成调试环境, 配合 E6000、H51、K51、P51、LPC76X、LPC932、PIC6000、LAB2000P、LAB6000 等型号的伟福仿真器使用, 支持 C 语言的编写和软件仿真。

1.1.1 仿真器介绍

由于使用 51 系列单片机, 因此选用 E51L/E51T/E51S 51 系列专用型仿真器。此系列专用仿真器的功能和可配置仿真头与可仿真 CPU 的对应关系分别如表 1-1 和表 1-2 所示。

表 1-1 E51L/E51T/E51S 51 系列专用型仿真器的功能

仿真器型号	功 能
E51S	51 系列专用仿真器 (8 位, 10 MBps 总线速度) 运行时间统计、逻辑笔 (选配件) Windows 版本、DOS 版本双平台

表 1-2 仿真头配置对应表

仿真头型号	可仿真 CPU
POD8X5X	8X5X 系列, P ₀ 口和 P ₂ 口作为总线或 I/O 口使用
PODLPC	Philips LPC76X

Wave 仿真器外形示意图如图 1-1 所示。

1.1.2 软件安装步骤

Wave6000 的安装步骤如下:

- (1) 将安装光盘放入光盘驱动器;
- (2) 双击光盘驱动器, 然后选择出现在界面上的窗口;
- (3) 按照安装程序的提示, 输入相应内容;

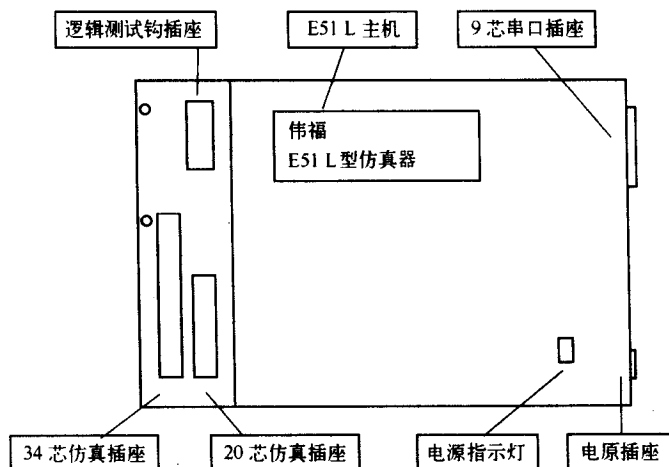


图 1-1 Wave 仿真器外形示意图

(4) 按照提示继续安装，直至结束。

注意：在安装新版本软件时，如果硬盘上已有老版本的软件，请在卸载旧版本软件后再安装新软件。

在安装过程中，如果用户没有指定安装目录，那么安装完成后，会在 C 盘建立一个目录（文件夹）C:\WAVE，结构如下：

```

C:\WAVE
├──BIN          可执行程序
├──HELP        帮助文件和使用说明
└──SAMPLES    样例和演示程序
  
```

伟福仿真系统已内嵌汇编编译器（伟福汇编器），同时留有第三方编译器的接口，方便用户使用高级语言调试程序，编译器可由用户自备。

如果需要进行 C 语言的编写和仿真，则需要安装 51 系列 CPU 的编译器，安装步骤如下：

- (1) 进入 C 盘根目录，建立文件夹 C:\COMP51；
- (2) 将第三方的 51 编译器（如 Keil C51）复制到文件夹 C:\COMP51 下；
- (3) 打开 Wave 软件，选择【主菜单 | 仿真器 | 仿真器设置 | 语言】，在弹出的【编译器路径】对话框中指定为 C:\COMP51（参见仿真器设置）。

如果用户将第三方编译器安装在硬盘的其他位置，请在【编译器路径】中指明其位置。

安装其他系列 CPU 的编译器（如 96 系列、PIC 系列）的步骤相同，只需要将第三方编译器的安装路径在【编译器路径】对话框中指明即可。

1.1.3 软件使用介绍

Wave6000 软件在以前版本的基础上增加了许多功能，特别是在窗口管理、项目管理和源文件编辑工具上做了较大改进。在 Wave6000 环境下的所有窗口均可以放在窗口的同一区域，并可直接切换，节省了窗口的面积，使窗口管理更为有效。Wave6000 还增强了项目管理和源文件编辑方面的功能，使得项目、文件切换更方便，有效的后退、前进功能使得修改

程序更方便。新增加的书签窗口和断点窗口可以有效地管理断点和书签,使得程序员不需要在众多的代码和断点中逐行查询,断点信息和书签信息在各自的窗口中一目了然。

Wave 的菜单栏如图 1-2 所示,下面先简单介绍其菜单功能。

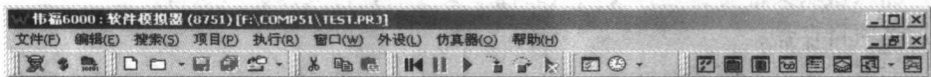


图 1-2 Wave 的菜单栏

文件 (F)

【文件 | 打开文件】: 打开用户程序, 进行编辑。如果文件已经在项目中, 则可以在项目窗口中双击相应文件名打开文件。

【文件 | 保存文件】: 保存用户程序。用户在修改程序后, 如果进行编译, 则在编译前系统会自动将修改过的文件存盘。

【文件 | 新建文件】: 建立一个新的用户程序, 在存盘的时候, 系统会要求用户输入文件名。

【文件 | 另存为】: 将用户程序存成另外一个文件, 原来的文件内容不会改变。

【文件 | 打开项目】: 打开一个用户项目, 在项目中, 用户可以设置仿真类型。

当加入用户程序进行编译、调试时, 需要注意的是, 系统中只允许打开一个项目, 所以在打开一个项目或新建一个项目时, 前一个项目将自动关闭。

项目窗口是用户和源程序文件、目标文件及用户设置等对象的桥梁, 通过项目窗口可以建立项目、设置项目、添加源程序到项目、编译项目等。如图 1-3 所示, Wave 开发环境的项目窗口包括仿真器设置、模块文件和包含文件。

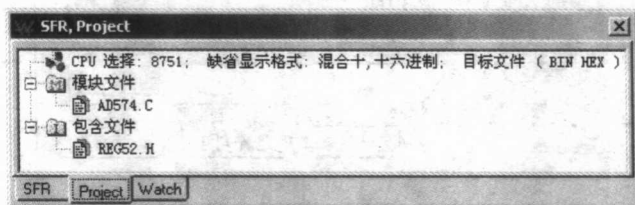


图 1-3 项目窗口

仿真器设置包括仿真器类型、仿真头 (POD) 类型、CPU 类型、显示格式和产生的目标文件类型, 可以通过以下几种方法设置仿真器:

- 在项目窗口中双击第一行, 将打开仿真器设置窗口, 对仿真器进行设置;
- 单击右键, 在弹出的快捷菜单中选择【仿真器设置】命令;
- 选择菜单栏的【仿真器 | 仿真器设置】命令。

加入模块文件的方法为:

- 单击右键, 在弹出的快捷菜单中选择【加入模块文件】命令;
- 选择菜单栏的【项目 | 加入模块文件】命令。

加入包含文件的方法为:

- 单击右键, 在弹出的快捷菜单中选择【加入包含文件】命令;
- 选择菜单栏的【项目 | 加入包含文件】命令。

用户可以将以前单文件方式的仿真转为 Windows 下的项目方式进行仿真, 按以下步骤仿真:

- (1) 选择菜单栏的【文件 | 新建项目】命令, 在新建项目时, 前一个项目自动关闭;
- (2) 加入模块文件时, 选择要调试的程序文件名, 将文件加入项目;
- (3) 将项目存盘;
- (4) 编译, 运行, 调试项目。

【文件 | 保存项目】: 将用户项目存盘。用户在编译项目时, 项目会自动存盘。

注意: 当用项目仿真时, 系统要求项目文件、模块文件和包含文件在同一个目录 (文件夹) 下。

【文件 | 新建项目】: 当用户开始新任务时, 应新建一个项目。在项目中, 设置所用仿真器类型和 POD 类型, 并加入用户程序 (模块)。

【文件 | 项目另存为】: 将项目换名存盘。注意, 选择此项只是将项目用另一个名字保存, 而不会将项目中的模块和包含文件换成另一个名字存盘。如果想将整个项目及模块存到另一个地方, 请直接复制项目。

【文件 | 复制项目】: 复制项目, 用户可将项目中的所有模块 (用户程序) 备份到另一个地方。在多模块项目中, 采用复制项目功能, 可以避免用户因为少复制某些模块, 而造成项目编译不能通过的问题, 方便用户对程序进行管理。

【复制项目】对话框如图 1-4 所示。【项目】中为当前被复制项目, 包括项目中各模块和包含文件。如果不是复制当前项目, 则可以单击【浏览】按钮找到所要复制的项目。【目标路径】中指明项目复制到何处, 可以单击【浏览】按钮将项目复制到其他地方。

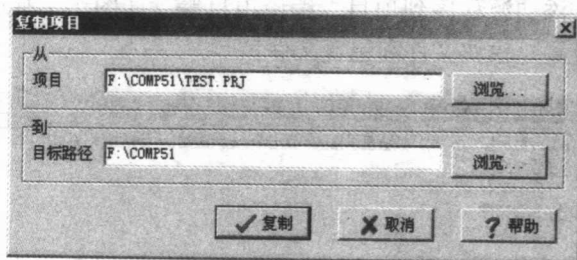


图 1-4 【复制项目】对话框

【文件 | 调入目标文件】: 装入用户已编译好的目标文件。

系统支持两种目标文件格式: BIN 和 HEX。二进制 (BIN) 格式: 由编译器生成的二进制文件, 也就是程序的机器码。英特尔 (HEX) 格式: 由英特尔定义的一种格式, 用 ASCII 码来存储编译器生成的二进制代码, 这种格式包括地址、数据和校验地址。【地址选择】一般为缺省地址 (由编译器决定), 但如果想在当前项目已编译好的二进制代码中插入一段其他代码, 可以去掉【缺省地址】前的选择, 然后填入开始插入的地址和结束地址。【调入目标文件】对话框如图 1-5 所示。

用调入目标文件的方法, 可以调试已有的二进制代码程序, 而不需要源程序。直接调入目标文件进行仿真的步骤为:

- (1) 新建项目;
- (2) 在新建的项目中, 设置仿真器类型、仿真头类型和 CPU 类型;

- (3) 调入目标文件 (不需要加入模块方式, 而是直接调入文件);
- (4) 打开 CPU 窗口, 在 CPU 窗口中就可以看见由目标文件反汇编生成的程序;

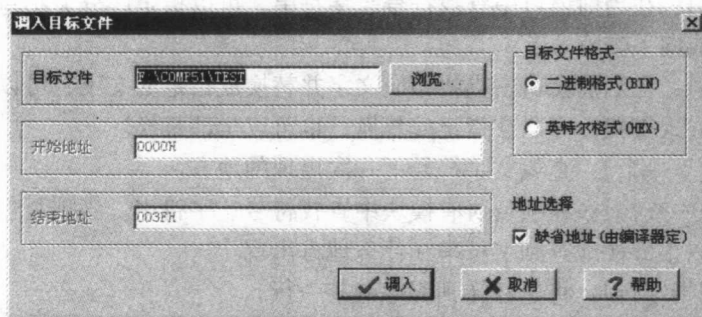


图 1-5 【调入目标文件】对话框

(5) 程序停在与 CPU 相关的地址上 (对于 51 系列的 CPU 会停在 0000H 处, 对于 96 系列的 CPU 会停在 2080H) 处;

(6) 单步或全速调试程序。

【文件 | 保存目标文件】: 将用户编译生成的目标文件存盘, 如图 1-6 所示。

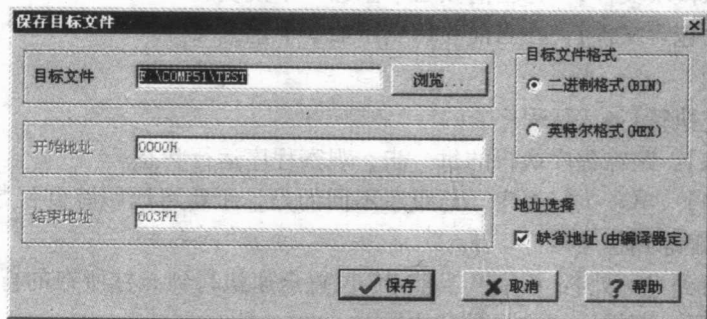


图 1-6 【保存目标文件】对话框

对于按项目方式仿真的用户, 系统将程序编译正确后, 会根据用户在【仿真器 | 仿真器设置】下的【目标文件】中设置的格式, 将生成的二进制代码存盘。如果用户是用调入目标文件的方式进行仿真, 并且对目标代码进行了修改, 就可以用【文件 | 保存目标文件】方式存盘。

【文件 | 打印】: 打印当前窗口内容, 可以是用户程序、逻辑分析仪波形或跟踪器窗口。

【文件 | 退出】: 退出系统, 如果在退出以前有修改过的文件没有存盘, 系统会提示用户是否将文件存盘。

编辑 (E)

【编辑 | 撤消键入】: 取消上一次操作。

【编辑 | 重复键入】: 恢复被取消的操作。

【编辑 | 剪切】: 删除选定的正文, 删除的内容被送到剪贴板上。

【编辑 | 复制】: 将选定的内容复制到剪贴板上。

【编辑 | 粘贴】: 将剪贴板的内容插入到光标位置。

【编辑 | 全选】：选定当前窗口所有内容。

🔍 搜索 (S)

【搜索 | 查找】：在当前窗口中查找符号、字符串。可以指定区分大小写方式、全字匹配方式，可以向上或向下查找。

【搜索 | 替换】：在当前窗口中查找相应文字并替换成指定的文字，可以指定区分大小写方式和全字匹配方式查找，可以在指定处替换，也可以全部替换。

【搜索 | 查找下一个】：查找文字符号下一次出现的地方。

【搜索 | 项目中查找】：在项目所有模块中查找符号、字符串。当项目包含的文件比较多时，用此方法可以很方便地查到字符串在什么地方出现。

【搜索 | 转到指定行】：将光标转到程序的某一行。

【搜索 | 转到指定地址/标号】：将光标转到指定地址或标号所在的位置。

【搜索 | 转到当前 PC 所在行】：将光标转到程序指针 PC 所在的位置。

🔧 项目 (P)

【项目 | 编译】：编译当前窗口的程序。如有错误，则系统会指出错误所在的位置。

【项目 | 全部编译】：全部编译项目中所有的程序文件和包含文件，如有错误，则系统会指出错误所在的位置。

【项目 | 加入模块文件】：在当前项目中添加一个模块。

【项目 | 加入包含文件】：在当前项目中添加一个包含文件。

🏃 执行 (R)

【执行 | 全速执行】：运行程序。

【执行 | 跟踪】：跟踪程序执行的每一步，观察程序运行状态。

【执行 | 单步】：单步执行程序。与跟踪不同的是，跟踪可以跟踪到函数或过程的内部，而单步执行则不跟踪到程序内部。

【执行 | 执行到光标处】：程序从当前 PC 位置全速执行到光标所在的行。如果光标所在行没有可执行代码，则提示“这行没有代码”。

【执行 | 暂停】：暂停正在全速执行的程序。

【执行 | 复位】：终止调试过程，复位程序。如果程序正在全速执行，则应先停止。

【执行 | 设置 PC】：将程序指针 PC 设置到光标所在行，程序将从光标所在行开始执行。

【执行 | 编辑观察项】：观察变量或表达式的值，可以将需要检查和修改的值或表达式放到观察窗口里以便检查和修改。

【编辑观察项】对话框如图 1-7 所示，其中各项的含义如下。

【表达式】——用于输入用户要求值的表达式。

【重复次数】——如果表达式为某一存储变量，则重复次数表示以此变量开始的连续 N 个地址的值。

【显示格式】——指定用何种方式显示表达式的值。

【存贮区域】——指明变量所在的区域。

【显示类型】——指定表达式为何种类型的变量。

【缺省方式显示】——按照高级语言定义的方式显示。

【存贮器内容】——以内存方式显示观察内容，也就是按地址顺序显示变量值，与变量类型无关。

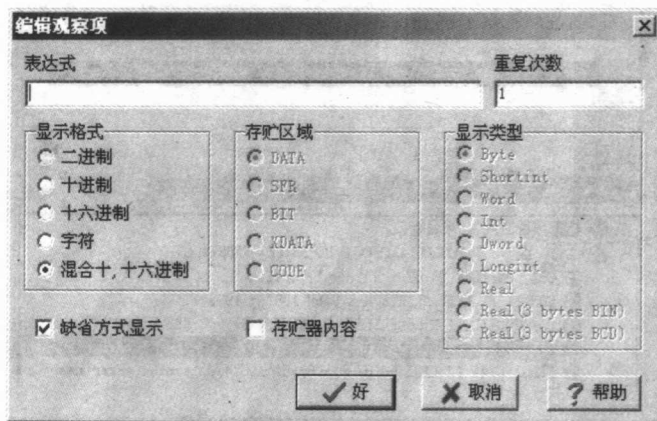


图 1-7 【编辑观察项】对话框

【取消】——关闭【编辑观察项】对话框。

【执行 | 设置/取消断点】：将光标所在行设为断点，如果该行原来已为断点，则取消该断点。

有 4 种方法可以在光标处设置断点：

- 将光标移到编辑窗口内，在每行左边的空白处，光标会变成右上指箭头，此时双击左键，可以设置或取消断点；
- 使用快捷键 **Ctrl + F8**，可以在光标所在行设置或取消断点；
- 单击右键，在弹出的快捷菜单中选择【设置/取消断点】命令；
- 单击菜单栏中的【执行/设置取消断点】进行设置。

断点设置好后，在当前行左空白处会出现。如果断点有效，则当前行背景色为红色；如果背景色为绿色，则说明当前程序行不产生代码，断点无效。

【执行 | 清除全部断点】：清除程序中所有的断点，让程序全速执行。

窗口 (W)

【窗口 | 项目窗口】：打开项目窗口，以便在项目中加入模块或包含文件。

【窗口 | 信息窗口】：信息窗口显示项目操作和文件操作后的详细信息，如打开项目、保存项目、项目编译过程和出错信息等。在一个项目调试之前，必须经过新建项目、设置项目、添加模块和包含文件、保存项目、编译项目等步骤，最后才进入调试项目，相关的所有成功和错误信息都会在该窗口中显示。因此，用户在调试项目前，需要观察此窗口是否有错误信息，待排除错误后方可正确调试项目。如果程序有错，则会以图标形式指出，表示错误，表示警告，表示通过。

编译信息窗口如图 1-8 所示，在编译信息行会有相关的生成文件，双击左键或单击右键，在弹出的快捷菜单中选择【打开】功能，可以打开相关文件。

注意：如果有编译错误，那么双击左键可以在源程序中指出错误所在行。有时前一行或后一行程序有错，会造成当前行编译不通过，但将错误定位在本行。所以如果发现了错误，但在本行却没有发现错误，则可以查查本行前后的程序。

例如，编译过程中发现有错。在信息窗口中看到在 AD574.C 文件第 50 行有 202 号错误，文字显示错误类型是：'re' undefined identifier，即未定义 re 标识符。双击此信息行，

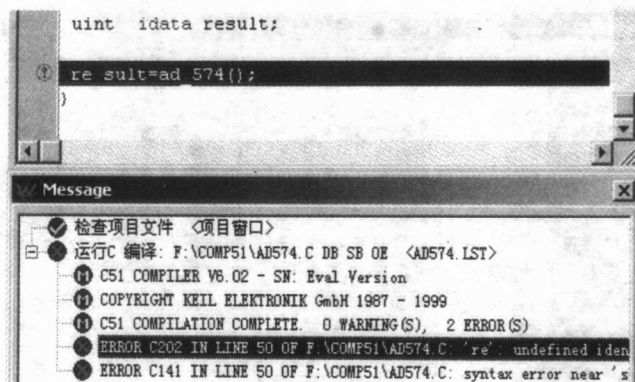


图 1-8 编译信息窗口

系统将打开 AD574.C 文件，并且在源文件的第 50 行指出有错。可以看到，“re”和“sult”中间有空格，原来应为“result”。

【窗口 | 观察窗口】：观察窗口如图 1-9 所示，用于显示项目中的所有变量和用户自定义变量，能显示常量、函数入口地址、数组变量、结构变量、共用体变量、指针变量等多种复杂的数据类型。支持直接修改变量的值，以方便程序的局部调试。

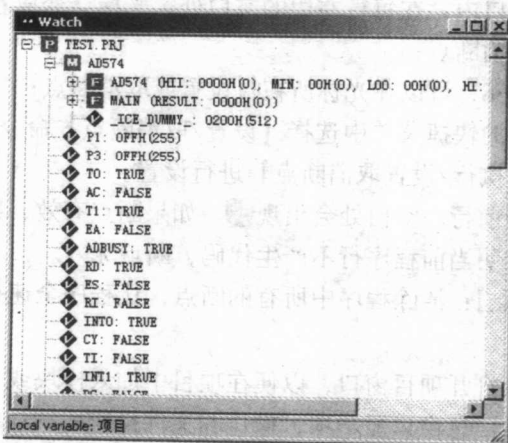


图 1-9 观察窗口

观察窗口也可以用于观察数据时效分析、程序时效分析、代码覆盖和影子存储器等分析功能的结果。

P表示当前项目，双击可以展开，观察到项目中的模块和项目所使用的变量。

M表示项目中所包括的模块，双击可以展开，观察到项目中包含的过程函数。

F表示模块中的函数，双击可以观察到模块中用到的变量。

◆表示模块或函数中使用的简单变量。图 1-10 所示为一个打开的项目，可以看到，项目中包括 PTRAP、ATRAP、CALC 3 个模块。其中，PTRAP 模块展开，它包括 WRITELN 和 READLN 两个函数，可以看到展开的 WRITELN 函数使用了 3 个简单变量：PTR、I 和 B。在展开的 CALC 模块中包含了 6 个函数。

◆表示模块或函数中使用的数组，双击可以展开数组，观察数组中各值的变化。