

# 基于PROTEUS的 电路及单片机 设计与仿真 (第2版)



周润景 张丽娜 丁 莉 编著



# 基于 PROTEUS 的 电路及单片机设计与仿真 (第 2 版)

周润景 张丽娜 丁 莉 编著

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书是基于 PROTEUS 7.6 SP0 版本软件,以软件的实际操作过程为写作的次序,以丰富的实例贯穿全书进行全面的讲解和分析,如 PROTEUS 软件的操作方法、模拟和数字电路的分析方法、单片机电路的软硬件调试技术以及 PCB 设计方法。

本书面向实际、图文并茂、内容详细具体,通俗易懂、层次分明、易于掌握,可以为从事科技开发、电路系统教学以及学生实验、课程设计、毕业设计、电子设计竞赛等人员提供很大的帮助。

本书既可以作为从事电子设计的工程技术人员自学的参考书,也可以作为高等院校相关专业的教材或职业培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

基于 PROTEUS 的电路及单片机设计与仿真/周润景, 张丽娜,丁莉编著. —2 版. —北京:北京航空航天大学出版社,2009.12

ISBN 978-7-81124-978-1

I. ①基… II. ①周…②张…③丁… III. ①单片微型计算机—系统设计—应用软件, PROTEUS②单片微型计算机—系统仿真—应用软件, PROTEUS IV. ①TP368

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 223449 号

© 2009,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制本书内容。  
侵权必究。

## 基于 PROTEUS 的电路及单片机设计与仿真 (第 2 版)

周润景 张丽娜 丁莉 编著

责任编辑 刘彦宁 王玉淑 刘建源

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100191) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

印刷厂印装 各地书店经销

\*

开本:787×1 092 1/16 印张:26 字数:666 千字

2010 年 1 月第 2 版 2010 年 1 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-978-1 定价:44.00 元

# 前言

---

随着电子技术的飞速发展,电子设计的方式也在不断进步。PROTEUS 嵌入式虚拟开发系统与仿真平台是一款可以实现数字电路、模拟电路、微控制器系统仿真以及 PCB 设计等功能的 EDA 软件。电路的软、硬的设计与调试都是在计算机虚拟环境下进行的。基于这一设计思想开发的 PROTEUS 软件,可以在原理图设计阶段对所设计的电路进行验证,并可以通过改变元器件参数使整个电路性能达到最优化。这样就避免了传统电子电路设计中方案更换带来的多次重复购买元器件及制版的麻烦,可以节省很多时间和经费,也提高了设计的效率和质量。

PROTEUS 软件集强大的功能与简易的操作于一体,成为嵌入式系统领域技术最先进的开发工具。PROTEUS 软件提供了三十多个元器件库、上万个元器件。元器件涉及电阻、电容、二极管、晶体管、MOS 管、变压器、继电器、各种放大器、各种激励源、300 多种微控制器、各种门电路和各种终端等。在 PROTEUS 软件中提供的仪表有交直流电压表、交直流电流表、逻辑分析仪、定时/计数器和信号发生器等虚拟仪器。PROTEUS 作为交互可视化仿真软件,提供数码管、液晶屏、LED、按钮、键盘等外设,同时支持图形化的分析功能,具有直流工作点、瞬态特性、交直流参数扫描、频率特性、傅里叶分析、失真分析、噪声分析等多种分析功能,并可将仿真曲线绘制到图表中。

本书是基于 PROTEUS 7.6 SP0 版本的软件,通过实例讲解 PROTEUS 软件的操作,包括原理图输入、电路仿真、软件调试及系统协同仿真。

本书总共分为 7 章,其主要内容如下:

第 1 章:PROTEUS 原理图编辑环境和 PROTEUS ARES PCB 制版环境概述。

第 2 章:介绍 PROTEUS ISIS 电路仿真中的控制面板、元器件的使用,并介绍了两种电路调试、仿真方法,即交互式电路仿真和基于图表的电路仿真。

第 3 章:介绍模拟电路的设计与仿真方法,其中包括模拟激励源的设置、模拟虚拟仪器的使用、探针的放置及模拟电路仿真方法。

第 4 章:介绍数字电路的设计与仿真方法,其中包括数字激励源的设置、数字虚拟仪器的使用、数字调试工具的使用、探针的放置及数字电路仿真方法。

第 5 章:介绍单片机的设计与仿真方法,其中包括源代码的编辑、目标代码的生成、第三方编辑器和第三方 IDE 的使用、单片机系统的调试及系统仿真。

第 6 章:介绍了利用 PROTEUS 软件进行仿真的多个例子,包括模拟交通灯、数字时钟、电子密码锁等。

第 7 章:介绍了 PROTEUS ARES PCB 的设计,主要包括了原理图的后处理、创建元件封



装、PCB 布局、PCB 布线以及光绘文件的输出。

本书共 7 章,其中第 1 章由张丽娜负责编写,丁莉完成书中例子的验证工作,其余内容由周润景负责编写,全书由周润景统稿、定稿。此外,张宏敏、张丽敏、宋志清、刘培智、陈雪梅、刘怡芳、陈艳梅、景晓松、张斐、郝晓霞、图雅、祁建光、吕小虎、王林、郑建峰、赵阳阳等同志参与了本书的录入、编排、校验等工作。

由于作者的水平有限,加上时间仓促,不妥之处敬请广大读者批评指正。

作 者

2009 年 10 月



|                                            |           |
|--------------------------------------------|-----------|
| <b>第 1 章 PROTEUS 概述 .....</b>              | <b>1</b>  |
| 1.1 PROTEUS ISIS 概述 .....                  | 1         |
| 1.2 PROTEUS ARES 概述 .....                  | 6         |
| 1.3 新版本 PROTEUS 7.6 的特点与功能 .....           | 7         |
| <b>第 2 章 PROTEUS ISIS 电路仿真 .....</b>       | <b>8</b>  |
| 2.1 交互式仿真 .....                            | 8         |
| 2.1.1 PROTEUS ISIS 交互式仿真控制面板 .....         | 8         |
| 2.1.2 PROTEUS ISIS 交互式仿真活性元件 .....         | 9         |
| 2.1.3 PROTEUS ISIS 交互式仿真过程 .....           | 10        |
| 2.2 交互式仿真中的电路测量 .....                      | 15        |
| 2.2.1 仿真动态实时显示 .....                       | 15        |
| 2.2.2 电路参数实时显示 .....                       | 33        |
| 2.2.3 电压探针与电流探针 .....                      | 43        |
| 2.2.4 虚拟仪器 .....                           | 49        |
| 2.3 基于图表的仿真 .....                          | 60        |
| 2.3.1 电路输入 .....                           | 61        |
| 2.3.2 放置信号发生器 .....                        | 63        |
| 2.3.3 放置仿真探针 .....                         | 65        |
| 2.3.4 放置仿真图表 .....                         | 67        |
| 2.3.5 设置仿真图表 .....                         | 67        |
| 2.3.6 电路输出波形仿真 .....                       | 71        |
| <b>第 3 章 基于 PROTUES ISIS 的模拟电路分析 .....</b> | <b>74</b> |
| 3.1 二极管伏安特性分析——直流信号源(电压型)与直流参数扫描分析 .....   | 74        |
| 3.1.1 二极管伏安特性测量电路 .....                    | 74        |
| 3.1.2 直流信号源编辑 .....                        | 75        |



|       |                                |     |
|-------|--------------------------------|-----|
| 3.1.3 | 探针及直流分析图表编辑                    | 76  |
| 3.1.4 | 二极管伏安特性分析                      | 80  |
| 3.2   | 晶体管输出特性分析——直流信号源(电流型)与转移特性分析   | 82  |
| 3.2.1 | 晶体管输出特性测量电路                    | 82  |
| 3.2.2 | 直流信号源编辑                        | 84  |
| 3.2.3 | 探针及直流分析图表编辑                    | 84  |
| 3.2.4 | 晶体管输出特性分析                      | 88  |
| 3.3   | RC 低通滤波器频率特性分析——正弦波信号源与交流参数扫描  | 89  |
| 3.3.1 | RC 低通滤波器电路                     | 89  |
| 3.3.2 | 正弦波信号源编辑                       | 91  |
| 3.3.3 | 探针及交流参数扫描图表编辑                  | 92  |
| 3.3.4 | RC 低通滤波器幅频特性和相频特性分析            | 95  |
| 3.4   | 单限比较器分析——模拟脉冲信号源与模拟分析          | 97  |
| 3.4.1 | 单限比较器电路                        | 97  |
| 3.4.2 | 直流信号源与模拟脉冲信号源的编辑               | 99  |
| 3.4.3 | 探针及模拟图表的编辑                     | 103 |
| 3.4.4 | 单限比较器分析                        | 105 |
| 3.5   | 限幅电压放大电路分析——指数信号源和单频率调频波信号源    | 108 |
| 3.5.1 | 限幅电压放大电路                       | 109 |
| 3.5.2 | 指数脉冲信号源的编辑                     | 111 |
| 3.5.3 | 探针及模拟图表编辑                      | 112 |
| 3.5.4 | 限幅电压放大电路分析                     | 113 |
| 3.6   | 音频功率放大器电路分析——频率、音频、噪声、傅里叶及失真分析 | 117 |
| 3.6.1 | 音频功率放大器前置放大电路                  | 117 |
| 3.6.2 | 音频功率放大器前置放大电路分析                | 120 |
| 3.6.3 | 音频功率放大器二级放大电路                  | 141 |
| 3.6.4 | 音频功率放大器二级放大电路分析                | 143 |
| 3.6.5 | 音频功率放大器功率放大电路                  | 159 |
| 3.6.6 | 音频功率放大器功率放大电路分析                | 161 |
| 3.6.7 | 音频功率放大电路                       | 167 |
| 3.6.8 | 音频功率放大电路分析                     | 168 |
| 第 4 章 | 基于 PROTEUS ISIS 的数字电路分析        | 182 |
| 4.1   | 异步十进制计数器电路分析——数字时钟、边沿信号源与数字分析  | 182 |
| 4.1.1 | 异步十进制计数器电路                     | 182 |
| 4.1.2 | 数字时钟信号源编辑                      | 186 |
| 4.1.3 | 探针及数字分析图表编辑                    | 187 |
| 4.1.4 | 异步十进制计数器电路分析                   | 190 |
| 4.1.5 | 完善异步十进制计数器电路                   | 193 |

|                                             |            |
|---------------------------------------------|------------|
| 4.2 RS 触发器电路分析——数字模式信号源与数字分析 .....          | 199        |
| 4.2.1 RS 触发器电路 .....                        | 199        |
| 4.2.2 RS 触发器电路调试 .....                      | 200        |
| 4.2.3 RS 触发器数字图表分析——数字模式信号源编辑 .....         | 203        |
| 4.2.4 RS 触发器数字图表分析——探针及数字分析图表编辑 .....       | 207        |
| 4.2.5 RS 触发器电路分析 .....                      | 208        |
| 4.2.6 RS 触发器用于消除机械开关振荡引起的脉冲 .....           | 210        |
| 4.3 竞赛抢答器电路分析——数字单周期脉冲信号源与数字分析 .....        | 216        |
| 4.3.1 竞赛抢答器电路 .....                         | 218        |
| 4.3.2 数字时钟信号源及数字单周期脉冲信号源编辑 .....            | 219        |
| 4.3.3 竞赛抢答器电路分析 .....                       | 221        |
| <b>第 5 章 PROTEUS ISIS 单片机仿真 .....</b>       | <b>227</b> |
| 5.1 在 PROTEUS ISIS 中输入单片机系统电路 .....         | 227        |
| 5.1.1 选取仿真元件 .....                          | 227        |
| 5.1.2 调试 PWM 输出电路中的 ADC0808 模数转换电路 .....    | 228        |
| 5.1.3 设计 PWM 输出控制电路 .....                   | 235        |
| 5.2 在 PROTEUS ISIS 中进行软件编程 .....            | 237        |
| 5.2.1 在 PROTEUS ISIS 中创建源代码文件 .....         | 237        |
| 5.2.2 在 PROTEUS ISIS 中编辑源代码 .....           | 240        |
| 5.2.3 在 PROTEUS ISIS 中将源代码文件生成目标代码 .....    | 242        |
| 5.3 系统调试 .....                              | 243        |
| 5.3.1 将目标代码添加到电路 .....                      | 243        |
| 5.3.2 电路调试 .....                            | 243        |
| 5.3.3 仿真电路 .....                            | 262        |
| 5.4 在 PROTEUS 中使用第三方源代码编辑器 .....            | 267        |
| 5.4.1 在 PROTEUS ISIS 中建立第三方源代码编辑器 .....     | 267        |
| 5.4.2 使用第三方编辑器编辑源程序 .....                   | 267        |
| 5.5 在 PROTEUS 中使用第三方 IDE .....              | 270        |
| 5.5.1 PROTEUS 作为外部调试器调试电路 .....             | 270        |
| 5.5.2 将 PROTEUS 作为插件(In - Circuit)仿真器 ..... | 276        |
| 5.6 将 PROTEUS 与 Keil 联调 .....               | 276        |
| 5.6.1 使用 Keil 的 $\mu$ Vision3 集成开发环境 .....  | 277        |
| 5.6.2 PROTEUS 与 Keil 的整合 .....              | 293        |
| 5.5.3 PROTEUS 与 Keil 的联调 .....              | 295        |
| <b>第 6 章 设计应用实例 .....</b>                   | <b>303</b> |
| 6.1 模拟交通灯设计 .....                           | 303        |
| 6.1.1 硬件设计 .....                            | 303        |



|                                  |           |            |
|----------------------------------|-----------|------------|
| 6.1.2                            | 程序设计      | 305        |
| 6.1.3                            | 调试与仿真     | 310        |
| 6.2                              | 数字时钟设计    | 311        |
| 6.2.1                            | 硬件设计      | 311        |
| 6.2.2                            | 程序设计      | 312        |
| 6.2.3                            | 调试与仿真     | 316        |
| 6.3                              | 电子密码锁设计   | 317        |
| 6.3.1                            | 硬件设计      | 317        |
| 6.3.2                            | 程序设计      | 317        |
| 6.3.3                            | 调试与仿真     | 325        |
| 6.4                              | 简单计算器设计   | 326        |
| 6.4.1                            | 硬件设计      | 326        |
| 6.4.2                            | 程序设计      | 328        |
| 6.4.3                            | 调试与仿真     | 334        |
| 6.5                              | 直流电动机驱动   | 335        |
| 6.5.1                            | 硬件设计      | 335        |
| 6.5.2                            | 程序设计      | 335        |
| 6.5.3                            | 调试与仿真     | 337        |
| 6.6                              | 步进电机驱动    | 338        |
| 6.6.1                            | 硬件设计      | 339        |
| 6.6.2                            | 程序设计      | 340        |
| 6.6.3                            | 调试与仿真     | 341        |
| <b>第 7 章 PROTEUS ARES PCB 设计</b> |           | <b>343</b> |
| 7.1                              | 原理图的后处理   | 343        |
| 7.1.1                            | 概 述       | 343        |
| 7.1.2                            | 自定义元件符号   | 344        |
| 7.1.3                            | 检查元件的封装属性 | 357        |
| 7.1.4                            | 完善原理图     | 358        |
| 7.2                              | 创建元件封装    | 359        |
| 7.2.1                            | 元件符号与元件封装 | 359        |
| 7.2.2                            | 创建元件封装    | 364        |
| 7.2.3                            | 指定元件封装    | 372        |
| 7.3                              | PCB 布局    | 375        |
| 7.3.1                            | 设置层面      | 375        |
| 7.3.2                            | 自动布局      | 375        |
| 7.3.3                            | 手工布局      | 377        |
| 7.3.4                            | 调整文字      | 379        |
| 7.4                              | PCB 布线    | 380        |

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| 7.4.1 设置约束规则 .....                    | 380        |
| 7.4.2 手工布线 .....                      | 383        |
| 7.4.3 铺 铜 .....                       | 385        |
| 7.5 输出光绘文件 .....                      | 388        |
| <b>附录 A PROTEUS ISIS 7 新增功能 .....</b> | <b>390</b> |
| <b>参考文献 .....</b>                     | <b>406</b> |

# 第 1 章

## PROTEUS 概述

PROTEUS 软件是由英国 LabCenter Electronics 公司开发的 EDA 工具软件,它集成了高级原理布图、混合模式 SPICE 电路仿真、PCB 设计以及自动布线,可实现一个完整的电子设计。它由 ISIS 和 ARES 两个软件构成,其中 ISIS 是一款便捷的电子系统仿真平台软件,ARES 是一款高级的布线编辑软件。

### 1.1 PROTEUS ISIS 概述

通过 PROTEUS ISIS 软件的 VSM(虚拟仿真技术),用户可以对模拟电路、数字电路、模数混合电路,以及基于微控制器的系统连同所有外围接口电子器件一起仿真。如图 1-1 所示。

在原理图中,电路激励源、虚拟仪器、图表以及直接布置在线路上的探针一起出现在电路中,如图 1-2 所示。任何时候都能通过“运行按钮”或“空格”键对电路进行仿真。

PROTEUS VSM 有两种截然不同的仿真方式:交互式仿真和基于图表的仿真。其中交互式仿真可实时观测电路的输出,因此可用于检验设计的电路是否能正常工作,如图 1-3 所示。

而基于图表的仿真能够在仿真过程中放大一些特别的部分,进行一些细节上的分析,因此基于的图表的仿真可用于研究电路的工作状态和进行细节的测量,如图 1-4 所示。

PROTEUS 软件的模拟仿真直接兼容厂商的 SPICE 模型,采用了扩充了的 SPICE3F5 电路仿真模型,能够记录基于图表的频率特性、直流电的传输特性、参数的扫描、噪声的分析、傅里叶分析等,具有超过 8000 种的电路仿真模型。PROTEUS 模拟仿真如图 1-5 所示。

PROTEUS 软件的数字仿真支持 JDEC 文件的物理器件仿真,有全系列的 TTL 和 CMOS 数字电路仿真模型,同时一致性分析易于系统的自动测试。PROTEUS 数字仿真如图 1-6 所示。

PROTEUS 软件支持许多通用的微控制器,如 PIC、AVR、HC11 以及 8051;包含强大的调试工具,可对寄存器、存储器实时监测;具有断点调试功能及单步调试功能;具有对显示器、按钮、键盘等外设进行交互可视化仿真。此外,PROTEUS 可对 IAR C-SPY、Keil  $\mu$ Vision2 等开发工具的源程序进行调试,可与 Keil 实现联调。PROTEUS 中微处理器电路仿真如图 1-7 所示。

此外,在 PROTEUS 中配置了各种虚拟仪器,如示波器、逻辑分析仪、频率计、 $1^{\circ}\text{C}$  调试器等,便于测量和记录仿真的波形、数据,如图 1-8 所示。

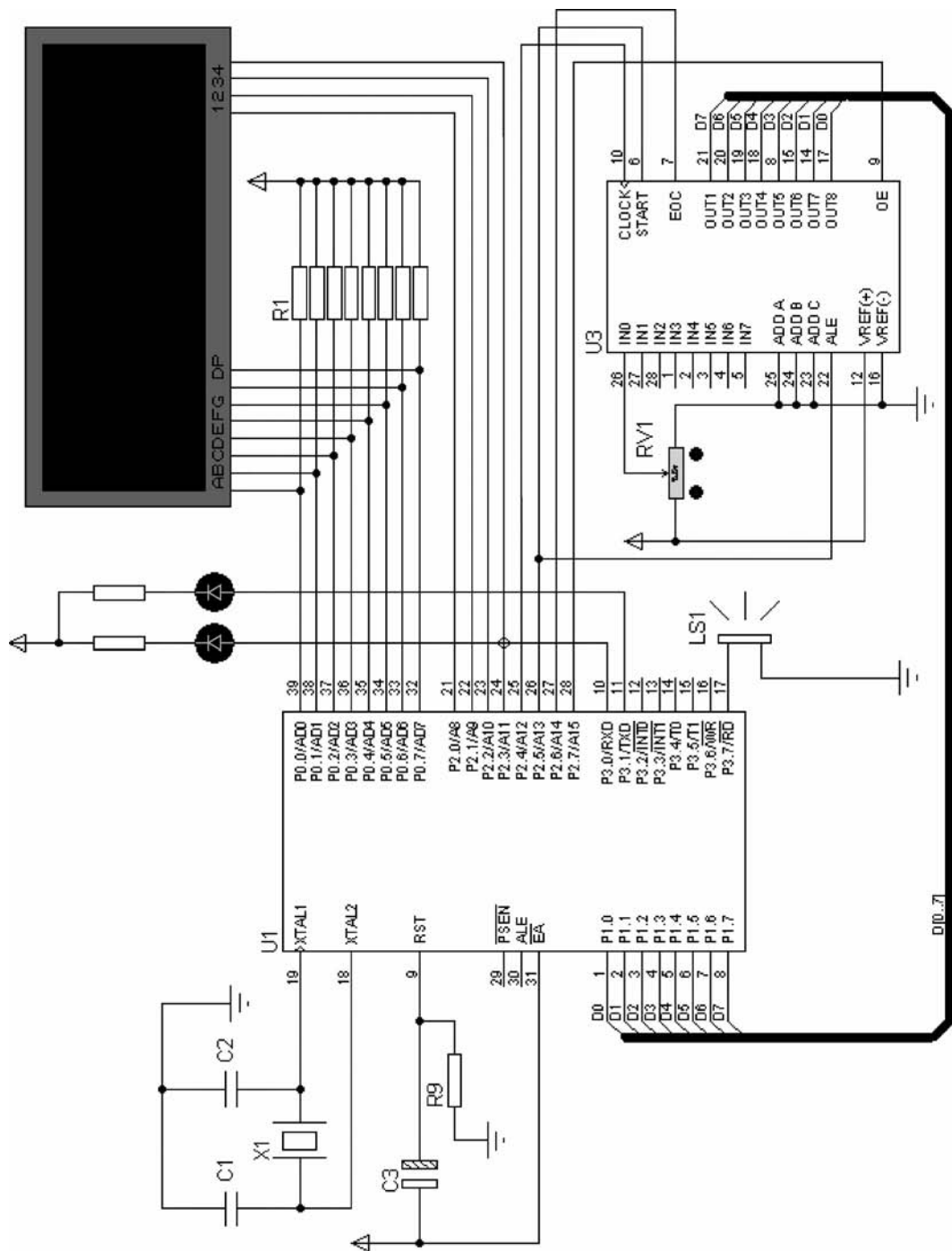


图1-1 基于微控制器的系统连同所有外围接口电子器件的仿真

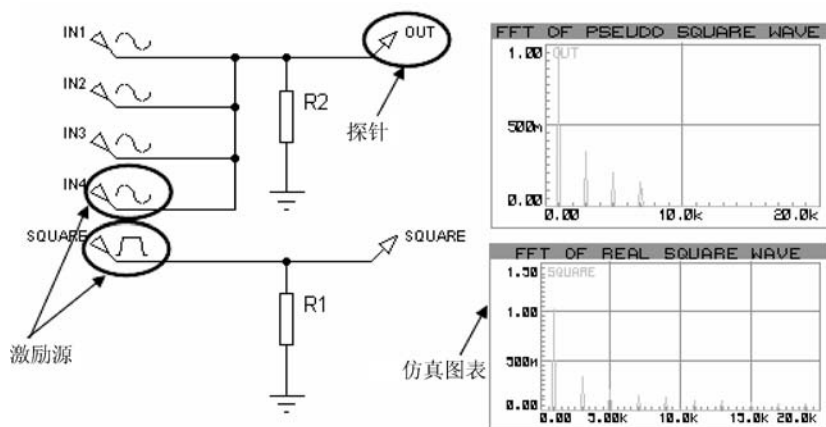


图 1-2 电路激励源、虚拟仪器、图表以及直接布置在线路上的探针一起出现在电路中

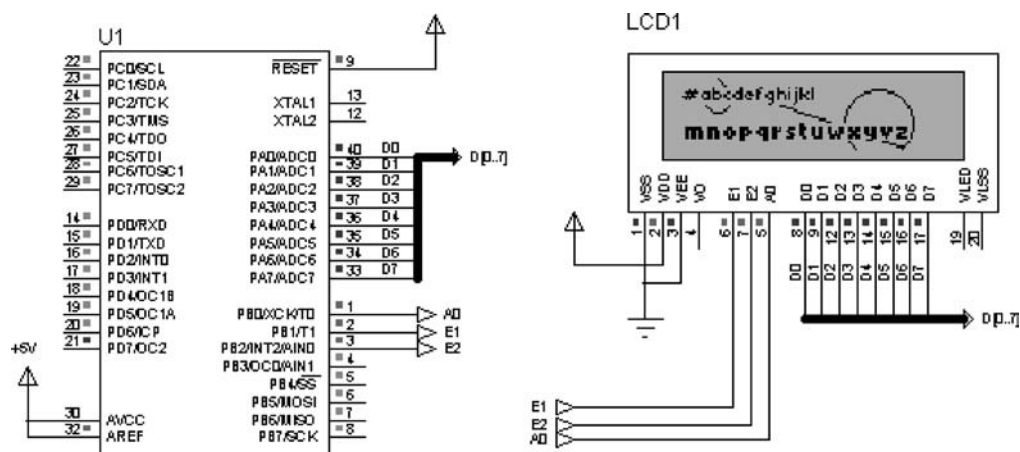


图 1-3 交互式仿真图

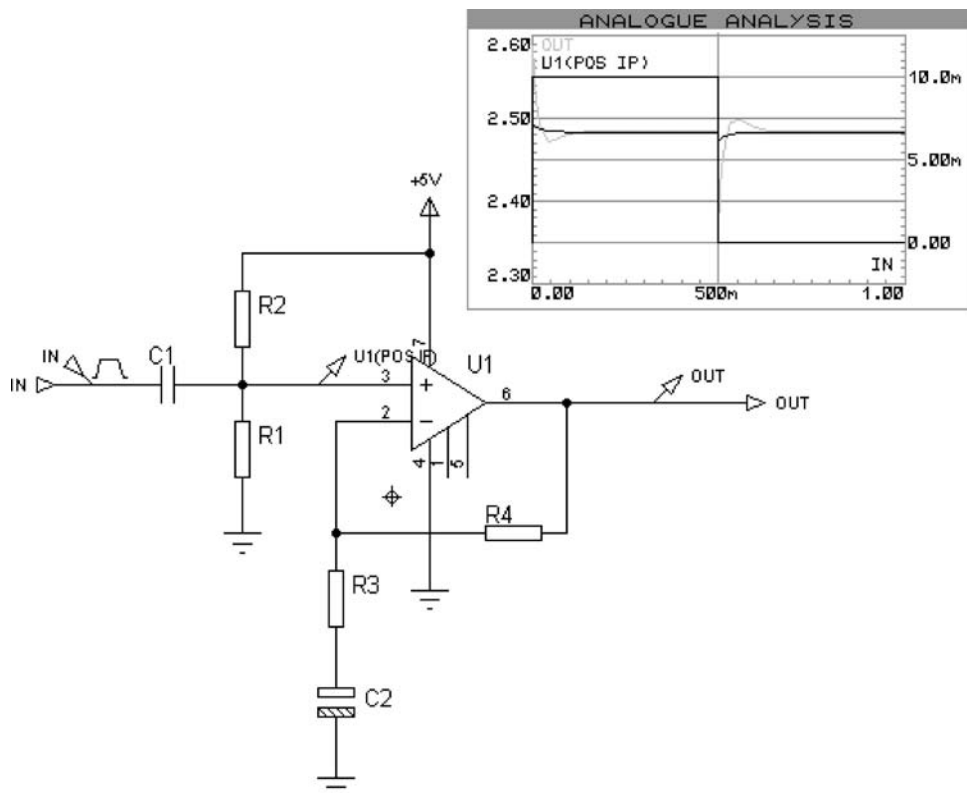


图 1-4 基于图表的仿真图

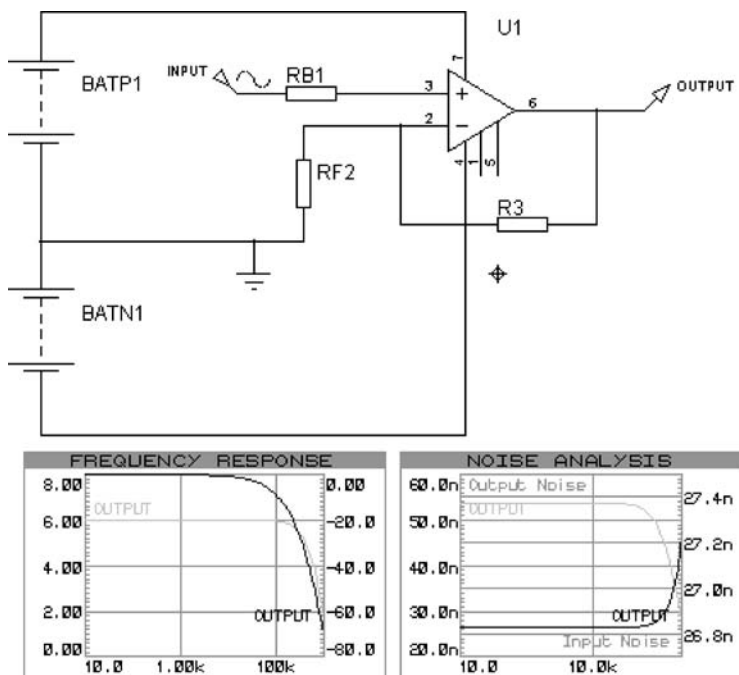


图 1-5 模拟仿真

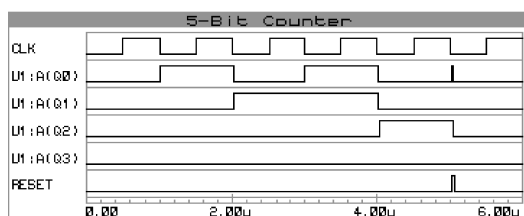
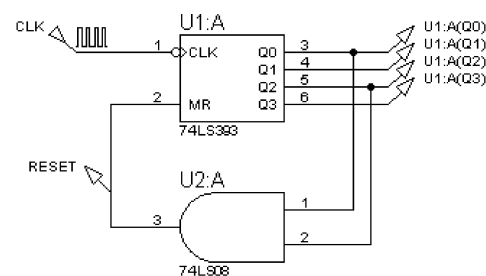


图 1-6 数字仿真

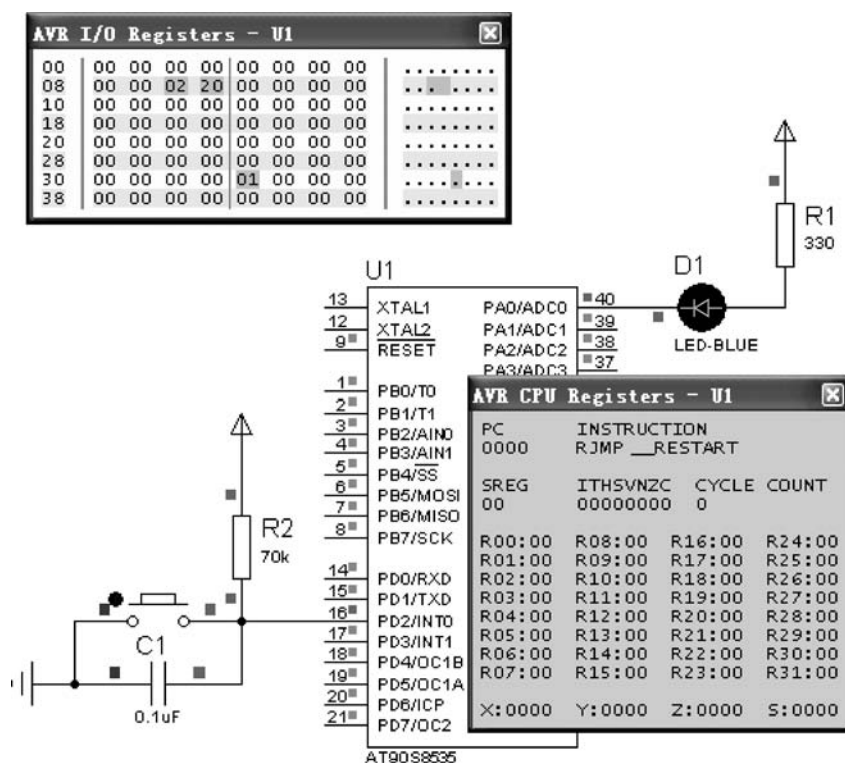


图 1-7 微处理器仿真

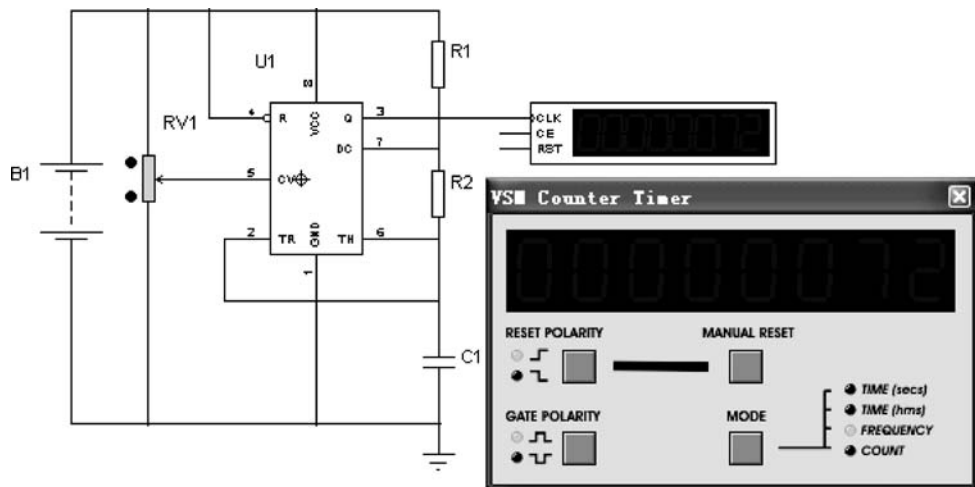


图 1-8 PROTEUS 中虚拟仪器的使用

## 1.2 PROTEUS ARES 概述

PROTEUS ARES PCB 的设计采用了原 32 位数据库的高性能 PCB 设计系统,以及高性能的自动布局和自动布线算法;支持多达 16 个布线层、2 个丝网印刷层、4 个机械层,加上线路板边界层、布线禁止层、阻焊层,可以在任意角度放置元件和焊盘连线;支持光绘文件的生成;具有自动的门交换功能;集成了高度智能的布线算法;有超过 1 000 个标准的元器件引脚封装;支持各种 Windows 驱动设备的输出;可以导出其他线路板设计工具的文件格式;能自动插入最近打开的文档;元件可以自动放置。PROTEUS PCB 布线如图 1-9 所示。

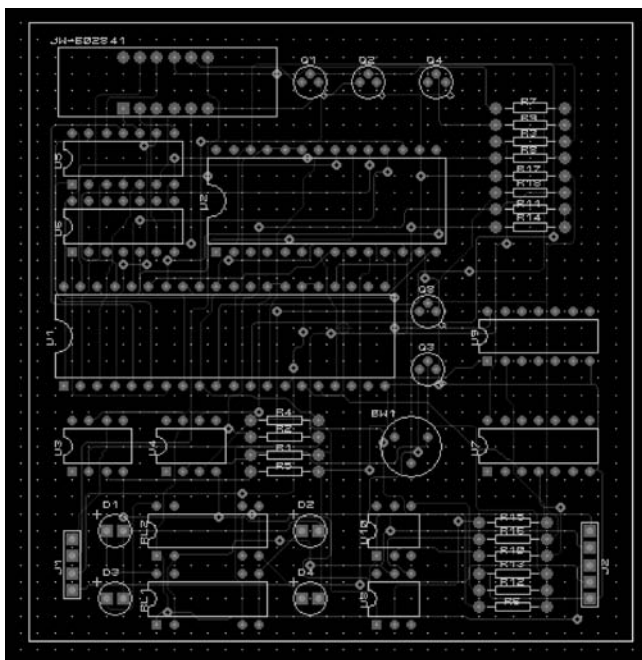


图 1-9 PROTEUS PCB 布线

## 1.3 新版本 PROTEUS 7.6 的特点与功能

PROTEUS 7.6 的特点与功能如下:

(1) 在之前的 PCB 设计的基础上,实现了 ODB++ 输出。ODB++ 输出是当今智能水平最高的 CAD/CAM 数据交换格式,它可以在单个数据库中保存 PCB 制造和装配所需的全部工程数据;同时,ODB++ 给新的 IPC2581 标准在 PCB 制作和装配工业的数据交换机提供尽可能多的技术基础,这种格式将会替代单独的 Gerber、钻孔和孔径文件;它还增加了额外的信息,如对于元器件和网络,允许用户把数据输入到 CAM 系统,这样常见的孔径文件、钻孔文件和其他的有问题的数据格式的问题就都可以避免了。

(2) 增加了对超过 35 种新的 Atmel ATMEGA、ATTINY 和其他不同的 AVR 单片机的支持,还有新增的 PIC16 和 PIC12 系列的单片机。

部分新增的 AVR 单片机:

- ATMEGA640, ATMEGA644, ATMEGA644P, ATMEGA645;
- ATMEGA162, ATMEGA165, ATMEGA165P, ATMEGA325;
- ATMEGA325P, ATMEGA3250, ATMEGA3250P, ATMEGA2313;
- ATMEGA8515, ATMEGA8535, ATMEGA1284P;
- ATTINY24, ATTINY25, ATTINY44, ATTINY45, ATTINY84;
- ATTINY85, ATTINY261, ATTINY461, ATTINY861, ATTINY2313。

(3) 新增加了一种可编程的信号发生器,它允许通过 BASIC 语言定义波形和信号,然后将这些任意模拟波形和数字信号序列加入到仿真中。用户只需要用一般的方法放置发生器,并对其进行连线,然后运用丰富的语言命令编辑发生器和定义所需要的波形,这样就给用户提供了一种简单的方法来创造各种测试信号或应用激励。而且模拟和数字的描述语言都能写入信号发生器,还能在帮助文件中找到完整的语言参考。

(4) 新增加了一种基于形状的布线器,它不仅是基于几何的,而且还应用了一种新的减少冲突的方法,该方法和尖端的布线算法一起构成了一种自适应的策略,这种策略使布通率大大提高。所有的设计者都可以采用全自动的布线功能,同时高级用户还可以对布线器进行交互的配置。

(5) 包含各种 Microchip 的低引脚数的 dsPIC33 微控制器,下面是新增加的 dsPIC33:

- dsPIC33FJ12GP201, dsPIC33FJ12GP202, dsPIC33FJ32GP202;
- dsPIC33FJ12GP204, dsPIC33FJ16GP304;
- dsPIC33FJ12MC201, dsPIC33FJ12MC202, dsPIC33FJ32MC202;
- dsPIC33FJ12GP204, dsPIC33FJ16MC304。