

第4章 虚拟仿真平台Proteus的使用



ROM和RAM的主要区别:

- 1、断电后ROM内的信息不丢失
RAM 中的信息立即丢失
- 2、读/写方式不同
ROM采用特殊方式写入信息，
正常工作是只读方式
RAM正常工作既能读又能写

2

虚拟仿真开发: 用软件手段对单片机应用系统进行仿真开发, 与用户样机硬件无任何联系, 只需在PC机安装Proteus, 就可进行单片机应用系统的设计开发、虚拟仿真与调试。

4.1 Proteus功能概述

Proteus是Lab center Electronics公司于1989年推出, 为单片机应用系统开发提供的功能强大的虚拟仿真工具。除具有模拟电路、数字电路的仿真功能外, 最大特色是对单片机应用系统连同程序运行以及所有的外围接口器件、外部测试仪器一起仿真。

3

针对单片机的应用, 可直接在基于原理图的虚拟模型上进行编程, 并实现源代码级实时调试。由于Proteus 具有强大功能与特色, 目前已在包括斯坦福大学等全球数千所高校及世界各研发公司广泛应用。

Proteus特点:

- (1) 能对模拟电路、数字电路进行仿真。
- (2) 强大的电路原理图绘制功能。

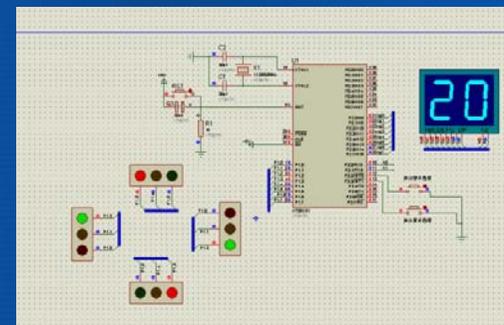


图4-1 Proteus绘制的交通灯电路原理图

(3) 支持各种主流单片机仿真，除8051系列外，Proteus还可仿真68000系列、AVR系列、PIC12/16/18系列、Z80系列、HC11、MSP430等其他各主流系列单片机，以及各种外围可编程接口芯片。此外还支持ARM7、ARM9以及TI公司的2000系列某些型号的DSP仿真。



图4-2 ARM板

(4) 元件库中具有几万种元件模型，可直接对单片机各种外围电路进行仿真，如RAM、ROM、总线驱动器、各种可编程外围接口芯片、LED数码管显示器、LCD显示模块、矩阵式键盘、实时时钟芯片以及多种D/A和A/D转换器。虚拟终端还可对RS232总线、I2C总线、SPI总线动态仿真。

(5) 提供了各种信号源，丰富的虚拟仿真仪器，如示波器、逻辑分析仪、信号发生器计数器、电压源、电流源、电压表、电流表等。

(6) 提供了丰富的调试功能。在虚拟仿真中具有全速、单步、设置断点等调试功能，同时可观察各变量、寄存器的当前状态。

(7) 支持第三方的软件编译和调试环境，如Keil C51 μ Vision3、MPLAB (PIC系列单片机的C语言开发软件) 等。

虚拟仿真不需用户样机，可直接在PC机上进行虚拟设计与调试。然后把调试完毕的程序代码固化在程序存储器中，一般能直接投入运行。

Proteus**不能进行用户样机硬件部分的诊断与实时在线仿真**。所以在单片机系统开发中，一般先在Proteus环境下画出系统的硬件电路图，在Keil C51 μ Vision3环境下书写并编译程序，然后在Proteus下仿真调试通过。

然后依照仿真的结果，完成实际的硬件设计，并把仿真通过的程序代码烧录到单片机中，然后安装到用户样机上观察运行结果，如有问题，再连接硬件仿真器去分析、调试。

本章重点介绍如何使用Proteus进行软、硬件结合的单片机系统仿真。

数字电路还有模拟、数字电路的混合系统的设计与仿真，高级PCB布线编辑功能，不是本书讨论的内容，感兴趣的读者可参阅相关书籍。

使用Proteus进行软、硬件结合的单片机系统仿真，可将许多系统实例的功能及运行过程形象化。通过虚拟仿真系统的运行，可像焊接好的单片机应用系统的电路板一样，看到系统的执行效果。

4.2 Proteus ISIS的虚拟仿真

ISIS（智能原理图输入）界面用来绘制单片机系统的电路原理图，在该界面下，还可进行单片机系统的虚拟仿真。当电路连接完成无误后，单击单片机芯片载入经调试通过生成的.hex文件，直接点击仿真运行按钮，即可实现声、光及各种动作等逼真的效果，以检验电路硬件及软件设计的对错，非常直观。

图4-3是一个单片机应用系统仿真的例子。单片机控制液晶显示器实时显示输出的广告牌。程序可通过Keil μ Vision3软件平台编辑、编译、载入可执行的“*.hex”文件即可。单击界面的仿真运行按钮，如程序无误，且硬件电路连接正确，则出现图4-3的仿真运行结果。

元器件引脚还会出现红、蓝两色的方点来表示此时引脚电平高低。红为高电平，蓝表示低电平。

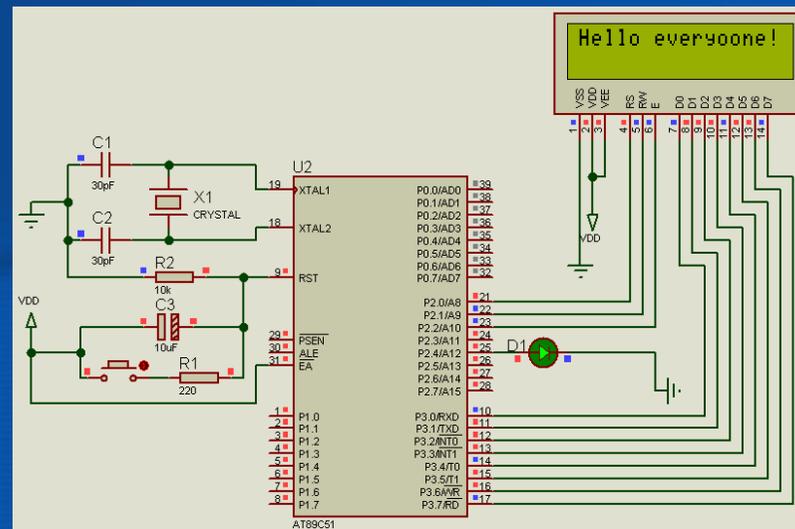


图4-3 单片机系统仿真实例

4.3 Proteus ISIS 环境简介

按要求把Proteus安装在PC机上。安装完后，单击桌面上的ISIS运行界面图标，即可出现如图4-4所示的Proteus ISIS 原理电路图绘制界面（以汉化7.5版本为例）。

整个屏幕界面分为若干个区域，由原理图编辑窗口、预览窗口、工具箱、主菜单栏、主工具栏等组成。

4.3.1 ISIS各窗口简介

ISIS界面主要有3个窗口：原理图编辑窗口、预览窗口和对象选择窗口。

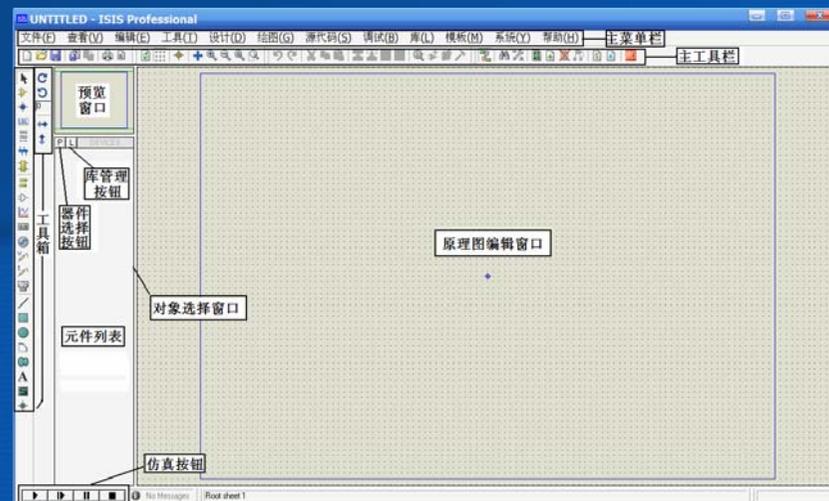


图4-4 Proteus 的ISIS的界面

1.原理图编辑窗口

用来绘制电路原理图、电路设计、设计各种符号模型的区域，蓝色方框内为可编辑区，元件放置、电路设置都在此框中完成。

2. 预览窗口

可对选中的元器件进行预览，也可对原理图编辑窗口预览。可显示两个内容：

(1) 如单击元件列表中的元件时，预览窗口会显示该元件符号。

(2) 当鼠标焦点落在原理图窗口时，它会显示整张原理图的缩略图，并会显示一个绿色方框，绿色方框里的内容就是当前原理图窗口中显示的内容。

单击绿色方框中的某一点，就可拖动鼠标来改变绿色方框的位置，从而改变原理图的可视范围，最后在绿色方框内单击鼠标，绿色方框就不再移动，使得原理图的可视范围固定，见图4-5。

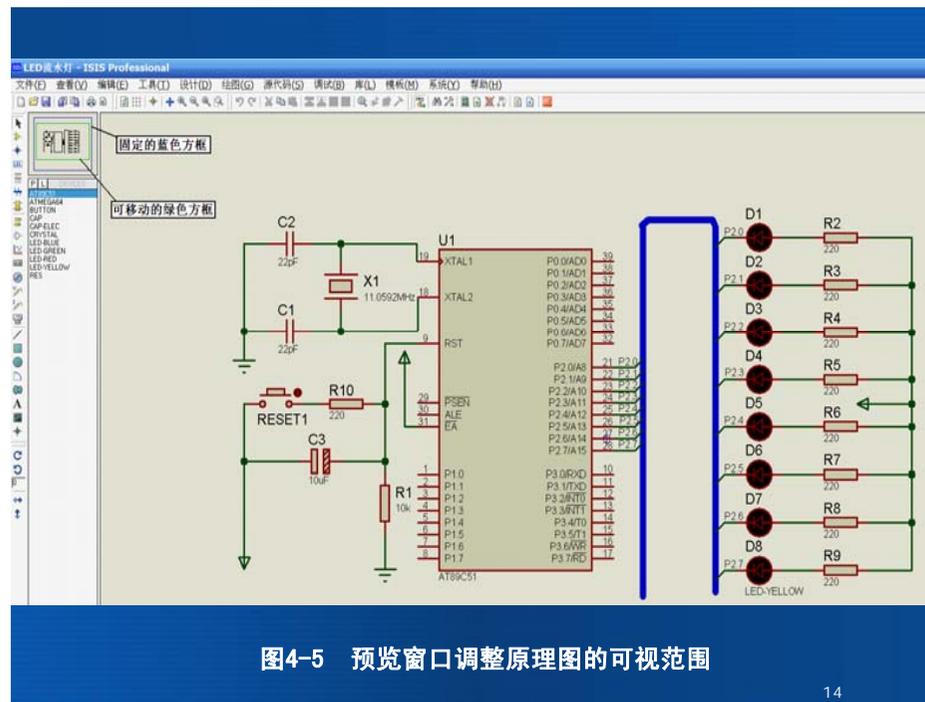


图4-5 预览窗口调整原理图的可视范围

4.3.2 主菜单栏

图4-4最上面一行为主菜单栏，包含如下命令：文件、查看、编辑、工具、设计、绘图、源代码、调试、库、模板、系统和帮助。单击任意菜单命令后，都将弹出其下拉的子菜单命令列表。

1. 文件 (File) 菜单

包括工程的新建设计、打开设计、导入位图、导入区域、导出区域和打印等操作，如图4-6所示。ISIS的文件类型有：设计文件 (.DSN)、部分文件 (.SEC)、模块文件 (.MOD) 和库文件 (.LIB)。

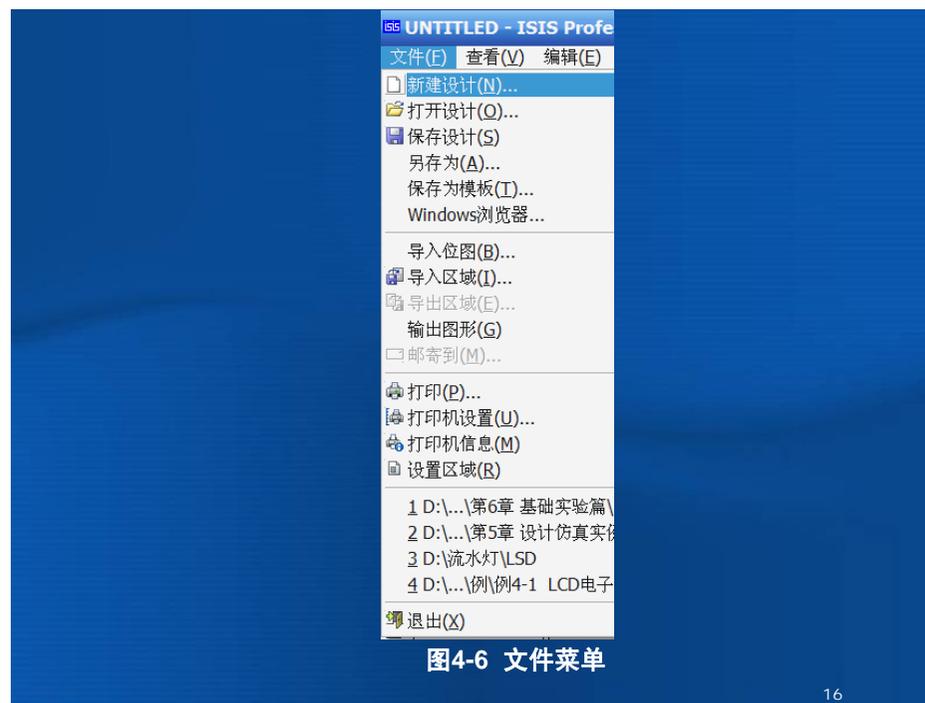


图4-6 文件菜单

下面介绍文件菜单下的主要几个子命令。

(1) 新建设计

点击【文件】→“新建设计”（也可直接点击图4-4主工具栏中的快捷图标），本命令将清除所有的原有设计数据，出现一个空的A4纸。新设计的默认名为“UNTITLED.DSN”。本命令会把该设计以这个名字存入磁盘文件中，文件的其他选项也会使用它作为默认名。

如想进行新的设计，需给该设计命名，然后点击【文件】→“保存设计”，输入新的文件名保存即可。

(2) 打开设计

本命令用来装载一个设计（也可直接点击主工具栏中的快捷图标）。

(3) 保存设计

可在退出ISIS或其他任何时候保存设计。上述两种情况，设计都被保存到装载时的文件中，旧“.DSN”文件会在名字前加前缀“Back of”。

(4) 另存为

本命令可把设计保存到另一个文件中。

(5) 导入区域/导出区域

“导出区域”命令可把当前选中的对象生成一个局部文件。该局部文件可使用“导入区域”命令到另一个设计中。局部文件导入与导出类似于“块复制”。

(6) 退出

本命令退出ISIS系统。如文件修改过，会出现对话框，问用户是否保存文件。

2. 查看（View）菜单

包括原理图编辑窗口定位、网格的调整及图形缩放等基本常用子菜单。

3. 编辑（Edit）菜单

实现各种编辑功能，如：剪切、复制、粘贴、置于下层、置于上层、清理、撤销、重做、查找并编辑元件等命令。

4. 工具（Tools）菜单

工具菜单见图4-7。菜单中的“自动连线（W）”命令，在绘制电路原理图中用到，命令文字前的快捷图标，在绘制电路原理图时出现，按下快捷图标即进入自动连线状态。

菜单中的“电气规则检查（E）”命令，可对绘制完毕的电路原理图可进行是否符合电气规则的检查。



图4-7 工具菜单

5. 设计菜单

见图4-8。具有编辑设计属性、编辑页面属性、配置电源、新建一张原理图、删除原理图、转到上一张原理图、转到下一张原理图、转到子原理图、转到主原理图等功能。



图4-8 设计菜单

22

6. 绘图 (Graph) 菜单

见图4-9。具有编辑图形、增加跟踪图线、仿真图形、查看日志、导出数据、清除数据、一致性分析以及批处理模式一致性分析功能。



图4-9 绘图菜单

23

7. 源代码 (Source) 菜单

源代码菜单见图4-10。具有添加/删除源文件、设定代码生成工具、设置外部文本编辑器以及全部编译功能。

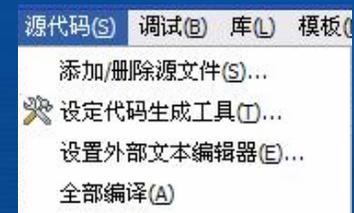


图4-10 源代码菜单

24

8. 调试 (Debug) 菜单

调试菜单见图4-11。主要完成单步运行、断点设置等功能。



图4-11 调试菜单

25

9. 库 (Library) 菜单

库菜单见图4-12。主要选择元器件及符号、制作元件、制作符号、封装工具、分解、编译到库中、自动放置库文件、检验封装、库管理等功能。



图4-12 库菜单

10. 模板 (Template) 菜单

模板菜单见图4-13。主要完成模板的各种设置，如图形、颜色、字体、连线等功能。



图4-13 模板菜单

27

11. 系统 (System) 菜单

系统菜单见图4-14。它具有系统信息、文本浏览器、设置系统环境、设置路径等功能。

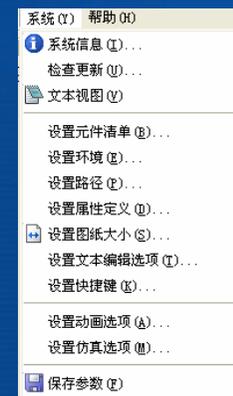


图4-14 系统菜单

28

12. 帮助 (Help) 菜单

帮助菜单见图4-15。它用来读帮助文档，同时每个元件均可通过属性中的“Help”获得帮助。



图4-15 帮助菜单

4.3.3 主工具栏

主工具栏位于主菜单下面，以图标形式给出，栏中共有38个快捷图标按钮：



每一个图标按钮都对应一个具体的菜单命令，主要目的是为了快捷方便地使用这些命令。下面把38个图标分为4组，简要介绍快捷图标命令的功能。

图标        的功能如下：

	新建一个设计文件
	打开一个已存在的设计文件
	保存当前的电路图设计
	将一个局部文件导入 ISIS 中
	将当前选中的对象导出为一个局部文件
	打印当前设计文件
	选择打印的区域

图标        的功能如下：

	刷新显示
	原理图是否显示网格的开关
	是否显示手动原点
	以鼠标所在点为中心居中
	放大
	缩小
	查看整张图
	查看局部图

图标  的功能如下:

	撤销最后一步操作
	恢复最后一步操作
	剪切选中对象
	复制选中对象至剪切板
	从剪切板粘贴
	复制选中的块对象
	移动选中的块对象
	旋转选中的块对象
	删除选中的块对象
	从库中选取器件
	创建器件
	封装工具
	释放元件

33

图标  的功能如下:

	自动连线
	查找并连接
	属性分配工具
	设计浏览器
	新建图纸
	移动页面/删除页面
	退出到父页面
	生成元件列表
	生成电气规则检查报告
	生成网表并传输到 ARES

34

4.3.4 工具箱

图4-2最左侧为工具箱，选择相应的工具箱图标按钮，系统将提供不同的操作工具。对象选择器根据不同的工具箱图标决定当前状态显示的内容。显示对象的类型包括：元器件、终端、引脚、图形符号、标注和图表等。

下面介绍工具箱中各图标按钮对应的功能。

(1) 模型工具栏各图标的功能

：选择模式。

：元件模式，用来拾取元器件。

设计者可根据需要，从丰富的元件库中拾取元器件并添加元件到列表中。单击此图标可在列表中选择元件。

：放置电路的连接点

此按钮适用于节点的连线，在不用连线工具的条件下，可方便地在节点之间或节点到电路中任意点或线之间连线。

35

：标注线标签或网络标号

本图标按钮在绘制电路图时，具有重要的意义，它可使连线简单化。例如，从8051单片机的P1.7脚和二极管的阳极各画出一条短线，并标注网络标号为1，那么就说明P1.7脚和二极管的阳极已经在电路上连接在一起了，而不用真的画一条线把它们连起来。

：输入文本

使用本图标按钮命令，可在绘制的电路上添加说明文本。

：绘制总线

总线在电路图上表现出来的是一条粗线，它代表的是一组总线。当连接到总线上时，要注意标好网络标号。

：绘制子电路块

36

：选择端子。

点击此图标按钮，在对象选择器中列出可供选择的各种常用端子：

- DEFAULT 默认的无定义端子
- INPUT 输入端子
- OUTPUT 输出端子
- BIDIR 双向端子
- POWER 电源端子
- GROUND 接地端子
- BUS 总线端子

37

：选择元件引脚

点击此图标，在对象选择器中列出可供选择的各种引脚（例如，普通引脚、时钟引脚、反电压引脚和短接引脚）。

：在对象选择器中列出可供选择的各种仿真分析所需的图表（如模拟图表、数字图表、混合图表和噪声图表等）。

：当需要对设计电路分割仿真时，采用此模式。

：在对象选择器中列出各种信号源（如正弦、脉冲和 FILE 信号源等）模式。

：在电路原理图中添加电压探针。电路仿真时可显示探针处的电压值。

：在电路原理图中添加电流探针。电路仿真时可显示探针处的电流值。

：在对象选择器中列出可供选择的虚拟仪器。

38

(2) 2D 图形模式各图标按钮功能

：画线，点击本图标，右侧的窗口中提供了各种专用的画线工具，具体如下：

- COMPONENT 用于元器件的连线
- PIN 用于引脚的连线
- PORT 用于端口的连线
- MARKER 用于标记的连线
- ACTUATOR 用于激励源的连线
- INDICATOR 用于指示器的连线
- VPROBE 用于电压探针的连线
- IPROBE 用于电流探针的连线
- GENERATOR 用于信号发生器的连线
- TERMINAL 用于端子的连线

39

- SUBCIRCUIT 用于支电路的连线
- 4D GRAPHIC 用于二维图的连线
- WIRE DOT 用于线连接点的连线
- WIRE 用于线连接
- BUS WIRE 用于总线的连线
- BORDER 用于边界的连线
- TEMPLATE 用于模板的连线

40

 : 画一个方框

 : 画一个圆

 : 画一段弧线

 : 图形弧线模式。

 : 图形文本模式。

 : 图形符号模式。

(3) 旋转或翻转的图标按钮：对元件预览窗口内的元件，可进行旋转或翻转。

 : 元件顺时针方向旋转，只能是 90° 的整数倍。

 : 元件逆时针方向旋转，角度只能是 90° 的整数倍。

 : 元件水平镜像旋转。

 : 元件垂直镜像旋转。

41

4.3.5 仿真工具栏

图4-4中仿真工具栏各按钮功能如下。

 : 运行程序

 : 单步运行程序

 : 暂停程序的运行

 : 停止运行程序

4.3.6 元件列表

元件列表用于挑选元件、终端接口、信号发生器、仿真图表等。挑选元件时，可以选择“关键字查找法”或“分类查找法”。如所选择的元器件并没有仿真模型，对话框将显示“No Simulator Model”（无仿真模型）。那么就不能够用该元器件进行仿真，或者只能做它的PCB板，或者选择其他的与其功能类似的仿真模型的元器件。

42

4.3.7 预览窗口

预览窗口可显示两个内容，一是在元件列表选择一个元件名称时，它会显示该元件的预览图，见图4-16。二是当鼠标落在原理图编辑窗口时，它会显示整张原理图的缩略图，并显示一个绿色的方框，绿色方框里面的内容就是当前原理图编辑窗口中显示的内容。

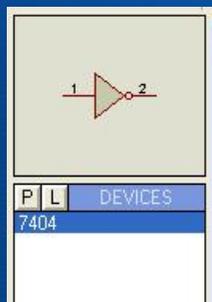


图4-16 预览窗口

4.3.8 原理图编辑窗口

原理图编辑窗口用来绘制原理图。需注意，该窗口没有滚动条，用户可用预览窗口来改变原理图的可视范围。具体操作：鼠标滚轮用来放大或缩小原理图；左键放置元件；右键选择元件；按两次右键删除元件；

先右键出现菜单后可编辑元件属性；先右键后左键可拖动元件；连线用左键，删除用右键。

要使编辑窗口显示一张大的电路图的其他部分，可通过以下方式：

(1) 单击预览窗口中想要显示的位置，编辑窗口将显示以单击处为中心的内容。

(2) 在编辑窗口内移动鼠标指针，可使显示平移。拨动鼠标滚轮可使编辑窗口缩小或放大，编辑窗口会以鼠标指针为中心重新显示。

下面介绍与工具栏中与原理图编辑窗口有关的几个功能按钮。

(1) 缩放原理电路图

如何把原理电路图进行放大与缩小，可采用工具栏中的“放大”快捷按钮或“缩小”快捷按钮，两种操作无论哪种，操作后，都会使编辑窗口以当前鼠标位置为中心重新显示。按下工具栏中的“显示全部”快捷按钮可把一整张电路图缩放到完全显示出来，即使是在滚动或拖动对象时。用户都可使用上述的功能按钮来控制缩放。

45

(2) 点状网格开关

编辑窗口内的原理电路图的背景是否带有点状网格，可由主工具栏中的“网格开关”按钮来控制。点与点之间的间距由对捕捉的设置来决定。

(3) 捕捉到网格

鼠标指针在编辑窗口内移动时，坐标值是以固定的步长增长的：初始设定值是100，这称为捕捉，能够把元件按网格对齐。捕捉的尺度可以由菜单栏中的“查看”菜单的命令设置，如图4-17所示。

(4) 实时捕捉

当鼠标指针指向引脚末端或者导线时，鼠标指针将会捕捉到这些物体。这种功能称为实时捕捉。该功能可使用户方便地实现导线和引脚的连接。

46



图4-17 查看菜单下捕捉尺度

47

4.4 Proteus ISIS的编辑环境设置

Proteus ISIS编辑环境的设置主要是指模板的选择、图纸的选择、图纸的设置和网格格点的设置。绘制电路图首先要选择模板，模板主要控制电路图的外观信息，比如图形格式、文本格式、设计颜色、线条连接点大小和图形等。然后设置图纸，如设置纸张的型号、标注的字体等。图纸的格点将为放置元器件、连接线路带来很多方便。

4.4.1 选择模板

在“菜单”项中点击【模板】按钮，出现图4-18所示的下拉菜单。

(1) 点击“设置设计默认值”，编辑设计的默认选项。

48



图4-18 【模板】下拉菜单。

- (2) 点击“设置图形颜色”，编辑图形颜色。
- (3) 点击“设置图形风格”，编辑图形的全局风格。
- (4) 点击“设置文本风格”，编辑全局文本风格。
- (5) 点击“设置图形文本”，编辑图形字体格式
- (6) 点击“设置连接点”，弹出编辑节点对话框

注意：模板的改变只影响当前运行的Proteus ISIS，但这些模板也有可能保存后被别的设计中调用。

4.4.2 选择图纸

在ISIS菜单栏中选择【系统】→“设置图纸尺寸”菜单项，出现图如4-19对话框，用户可选择图纸大小或自定义图纸大小。

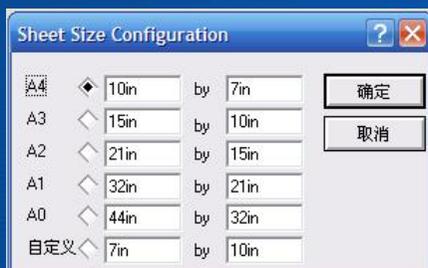


图4-19 设置图纸大小

4.4.3 设置文本编辑器

在菜单栏中选择【系统】→“设置文本编辑选项”，出现图4-20所示的对话框。在该对话框中可对文本的字体、字形、大小、效果和颜色等进行设置。



图4-20 设置文本格式

4.4.4 网格开关与格点间距设置

(1) 网格的显示或隐藏：可直接点击快捷图标按钮来控制“网格”的显示与隐藏。也选择【查看】→“网格”菜单项控制网格是否显示。

(2) 设置格点的间距：选择【查看】→“Snap 10th”菜单项，或“Snap 50th”、“Snap 0.1in”、“Snap 0.5in”项，可调整格点间距(默认值为0.1in)

4.5 Proteus ISIS的系统运行环境设置

在Proteus ISIS主界面中选择【系统】→“设置环境(E)”子菜单项，即可打开如图4-21所示的系统环境设置对话框。

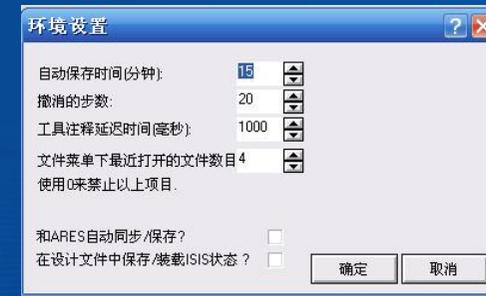


图4-21 系统环境设置对话框

对话框包括如下设置：

- 自动保存时间：系统自动保存设计文件的时间设置(单位为分钟)。
- 撤销的步数：可撤销操作的次数设置。
- 工具注释延迟时间（毫秒）：工具提示延时，单位为毫秒。
- 文件菜单下最近打开的文件数目：文件菜单项中显示文件名的数量
- 和ARES自动同步/保存？：在保存设计文件时，是否自动同步/保存ARES。
- 在设计文件中保存/加载ISIS状态？：是否在设计文档中保存/加载Proteus ISIS状态。

4.6 单片机系统的Proteus虚拟设计与仿真

本节通过一个案例“流水灯的制作”来介绍在Proteus下的单片机应用系统的虚拟设计与仿真。

4.6.1 虚拟设计与仿真步骤

Proteus下的虚拟仿真在相当程度上反映了实际单片机系统的运行情况。在Proteus开发环境下的一个单片机系统的设计与虚拟仿真应分为3个步骤。

(1) Proteus ISIS下的电路设计

首先在Proteus ISIS环境下完成一个单片机应用系统的电路原理图设计，包括选择各种元器件、外围接口芯片等，电路连接以及电气检测等。

(2) 源程序设计与生成目标代码文件

在Keil μ Vision3平台上进行源程序的输入、编译与调试，并生成目标代码文件 (*.hex文件)。

(3) 调试与仿真

在Proteus ISIS平台下将目标代码文件 (*.hex文件) 加载到单片机中，并对系统进行虚拟仿真，这是本节要介绍的内容。在调试时也可使用Proteus ISIS与Keil μ Vision3进行联合仿真调试，请见后面介绍。

单片机系统的原理电路设计及虚拟仿真整体流程如图4-22的左侧流程图所示。

第1步“Proteus电路设计”是在Proteus ISIS平台上完成。

第2步“源程序设计”与第3步“生成目标代码文件”是在Keil μ Vision3平台上完成。

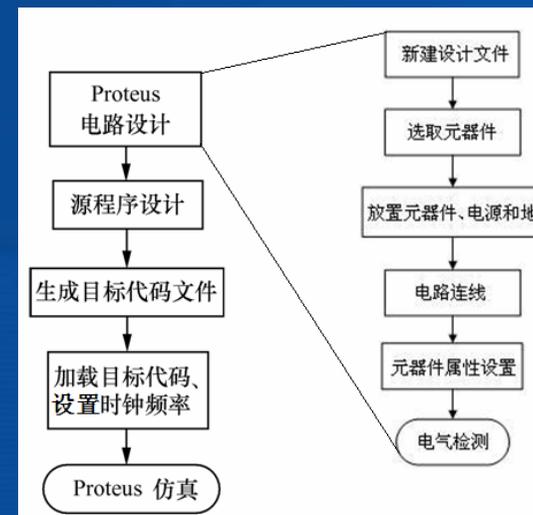


图4-22

第4步“加载目标代码、设置时钟频率”是在ISIS下完成。

第5步“Proteus仿真”是在Proteus ISIS下的VSM模式下进行，其中也包含了各种调试工具的使用。

由图4-22右侧流程图可看到，用Proteus ISIS软件对单片机系统进行电路原理图设计的各个步骤。下面以案例“流水灯的制作”的虚拟仿真为例，详细说明具体操作。

4.6.1 新建或打开一个设计文件

1. 建立新文件

点击菜单的【文件】→“新建设计”选项（或点击主工具栏的快捷按钮）来新建一个文件。如果选择前者新建设计文件，会弹出如图4-23的“新建设计”窗口。

窗口中提供多种模板。单击要选的模板图标，再单击“确定”按钮，即建立一个该模板的空白文件。如果直接单击“确定”按钮，即选用系统默认的“DEFAULT”模板。



图4-23 “新建设计”窗口

如果用工具栏的快捷图标按钮来新建文件，就不会出现图4-23所示的窗口，而直接选择系统默认的模板。

2. 保存文件

按上面操作，为案例建立了一个新的文件，在第一次保存该文件时，选择菜单栏【文件】→“另存为(A)”选项，即弹出图4-24所示的“保存ISIS设计文件”窗口，在该窗口选择文件的保存路径和文件名“流水灯”，后，单击“保存”，则完成了设计文件的保存。这样就在“实验1（流水灯）”子目录下建立了一个文件名为“流水灯”的新的设计文件。

如不是第一次保存，可选择菜单栏【文件】→“保存设计(S)”选项，或直接单击快捷图标按钮即可。



图4-24 “保存ISIS设计文件”窗口

3. 打开已保存的文件

选择菜单栏【文件】→“打开设计(O)”，将弹出图4-25的“加载ISIS设计文件”窗口。单击需打开的文件名，再单击“打开”按钮即可。



图4-25 “加载ISIS设计文件”窗口

4.6.2 选择需要的元件到元件列表

在电路设计前，要把设计“流水灯”电路原理图中需要的元器件列出，见表4-1。

元件名称	型号	数量	Proteus的关键字
单片机	AT89C51	1	AT89C51
晶振	12MHz	1	CRYSTAL
二极管	蓝色	8	LED-BLUE
二极管	绿色	8	LED-GREEN
二极管	红色	8	LED-RED
二极管	黄色	8	LED-YELLOW
电容	24pF	4	CAP
电解电容	10 μ F	1	CAP-ELEC
电阻	240 Ω	10	RES
电阻	10k	1	RES
复位按钮		1	BUTTON

所有元件选取完毕后，单击图4-26中“确定”按钮，即可关闭“Pick Devices”窗口，回到主界面进行原理图绘制。此时“流水灯”的元件列表见图4-26。

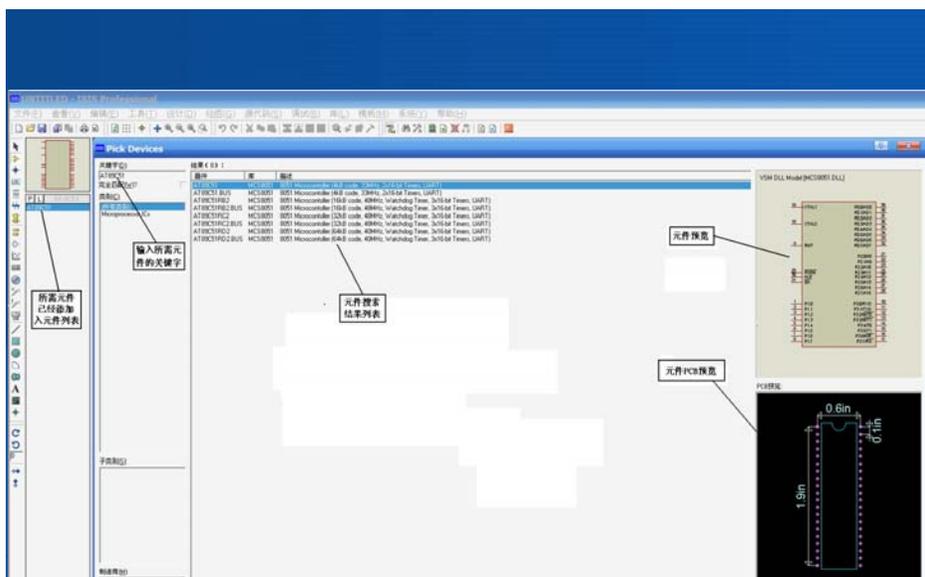


图4-26 “Pick Devices”窗口



图4-27 元件已添加到元件列表

4.6.3 放置元件并连接电路

1) 元件的放置、调整与编辑

(1) 元件的放置

单击元件列表中所需要放置的元器件，然后将鼠标移至原理图编辑窗口中单击一下，此时就会在鼠标处有一个粉红色的元器件，移动鼠标选择合适的位置，单击一下左键，此时该元件就被放置在原理图窗口了。例如选择放置单片机AT89C51到原理图编辑窗口，具体步骤见图4-28。

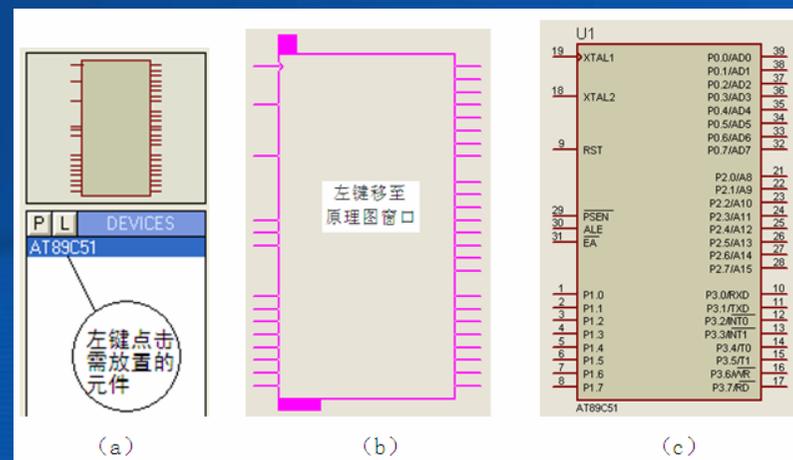


图4-28 元件放置的操作步骤

若要删除已放置的元件，用鼠标左键单击该元件，然后按Delete键删除元件，如误删除，可以点击快捷按钮恢复。

电路原理图设计，除元器件还需要电源和地等终端，单击工具栏中的快捷按钮，就会出现各种终端列表，点击元件终端中的某一项，上方的窗口中就会出现该终端的符号，如图4-29 (a) 所示。此时可选择合适的终端放置到电路原理图，放置的方法与元件放置相同。

图4-28 (b) 为图4-29 (a) 列表中的终端符号。当再次单击按钮时，即可切换回到用户自己选择的元件列表，见图4-27。根据上述介绍，可将所有的元器件及终端放置到原理图编辑窗口中去。

2) 元件位置的调整

1) 改变元件在原理图中的位置，用鼠标左键点击需调整位置的元件，元件变为红颜色，移动鼠标到合适的位置，再释放鼠标即可。

2) 调整元件角度，用右键单击需调整的元件，会出现图4-30的菜单，操作菜单中的命令选项即可。

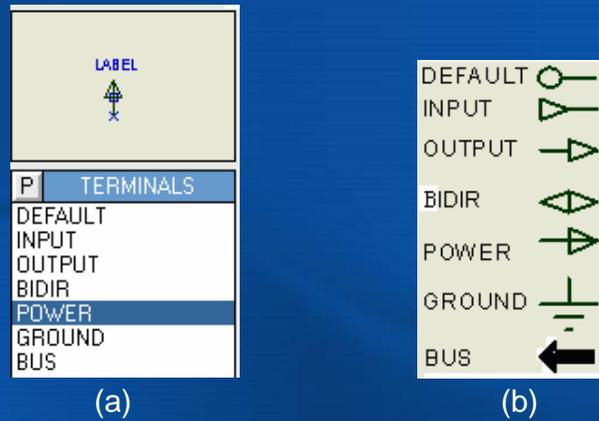


图4-29 终端列表及终端符号

3) 元件参数设置

用鼠标双击需要设置参数的元件，就会出现“编辑元件”窗口。下面以单片机AT89C51为例，双击AT89C51，出现如图4-31的“编辑元件”窗口，其中的基本信息如下：

元件参考号：U1，有一隐藏选择项，可在其后打“√”，选择隐藏。

元件值：AT89C51，有一隐藏选择项，可在其后打“√”，选择隐藏。

Clock Frequency：单片机的晶振频率12MHz。

隐藏选择，可对某些项进行显示选择，点击小倒三角，出现下拉菜单，可选择其中的隐藏选项。

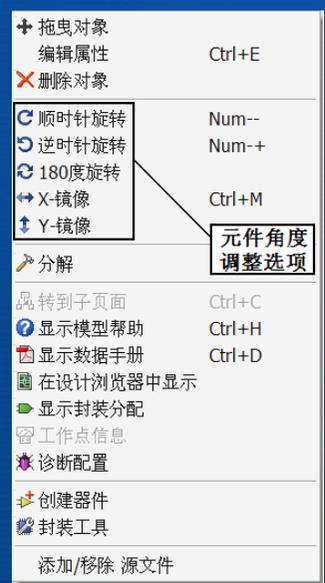


图4-30 调整元件角度的命令选项

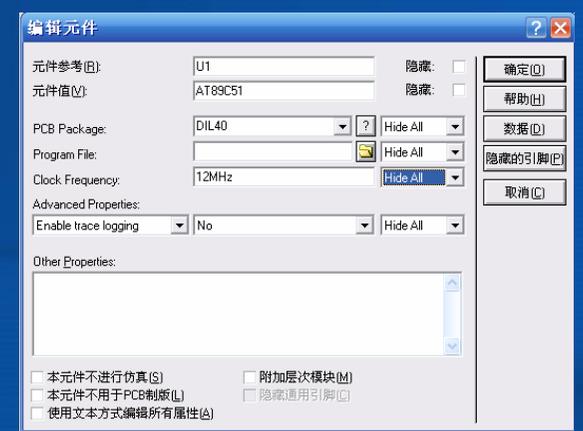


图4-31 “编辑元件”窗口

4) 电路元件的连接

(1) 两元件间绘制导线

在元件模式快捷按钮与自动布线器快捷按钮按下时，两个元件导线的连接方法是：先单击第一个元件的连接点，移动鼠标，此时会在连接点引出一根导线。如想要自动绘出直线路径，只需点击另一个连接点。

如设计者想自己决定走线路径，只需在希望的拐点处单击鼠标左键。需要注意的是，拐点处导线的走线只能是直角。在自动布线器快捷按钮松开时，导线可按任意角度走线，只需要在希望的拐点处单击鼠标左键，把鼠标指针拉向目标点，拐点处导线的走向只取决于鼠标指针的拖动。

(2) 连接导线连接的圆点

单击连接点按钮，会在两根导线连接处或两根导线交叉处添加一个圆点，表示它们是连接的。

(3) 导线位置的调整

对某一绘制的导线，要想进行位置的调整，可用鼠标左键点击导线，导线两端各有一个小黑方块，单击右键出现菜单，如图4-32所示。点击“拖拽对象”，即可拖拽导线到指定的位置，也可进行旋转，然后单击导线，这就完成了导线位置的调整。

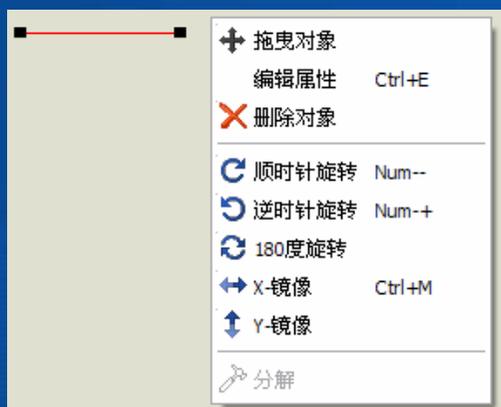


图4-32 改变导线位置的菜单

(4) 绘制总线与总线分支

总线绘制：单击工具栏的图标按钮，移动鼠标到绘制总线的起始位置，单击鼠标左键，便可绘制出一条总线。在总线的终点处双击鼠标左键，即结束总线的绘制。

总线分支绘制：总线绘制完以后，有时还需绘制总线分支。为了使电路图显得专业和美观，通常把总线分支画成与总线成 45° 角的相互平行的斜线，如图4-33所示。

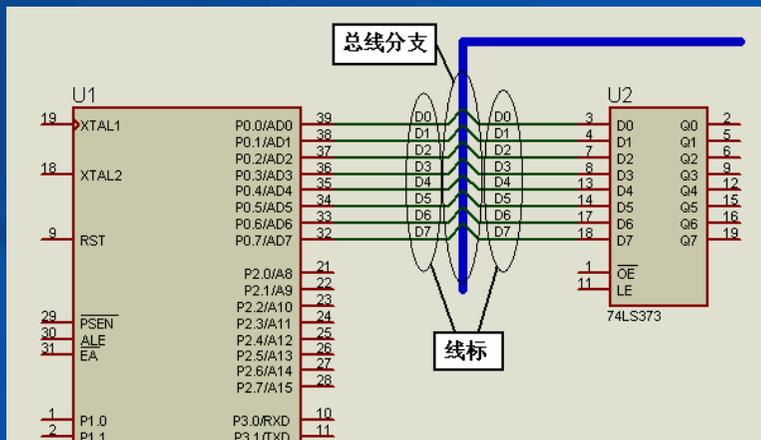


图4-33 总线与总线分支及线标

(5) 放置线标签

从图4-33可看到与总线相连的导线都有线标D0、D1.....D7。

放置线标方法如下：单击工具栏的图标，再将鼠标移至需要放置线标的导线上单击，即会出现如图4-34所示的“Edit Wire Label”对话框，将线标填入“标号”栏（例如填写“D0”等），点击“确定”按钮即可。与总线相连的导线必须要放置线标，这样连接着相同线标的导线才能够导通。

“Edit Wire Label”对话框除了填入线标外，还有几个选项，设计者根据需要选择即可。

经上述步骤操作，最终画出的“流水灯”电路见图4-35。



图4-34 “Edit Wire Label”对话框

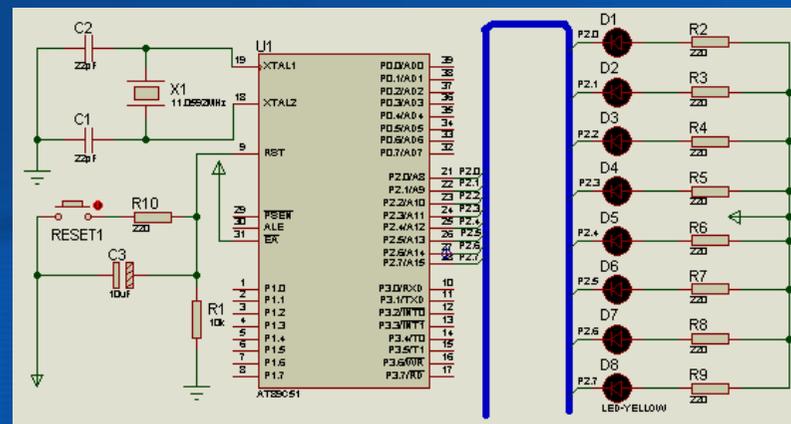


图4-35 “流水灯”的电路原理图

(6) 在电路原理电路图中书写文字

如想在电路原理图中某位置书写文字，可采用如下方法。

例如，要在图4-35中的石英晶振上方书写“石英晶振”4个字，可先点击左侧工具栏中的图形文本模式的快捷按钮，然后鼠标点击电路原理图要书写文字的位置，这时就会出现图4-36所示的“编辑2D图形文本”对话框。在对话框的“字符串”栏目中，写入文字“石英晶振”，然后对字符的“位置”、字符的“字体属性”等栏目进行相应的设置。点击按键“确定”后，在电路原理图中出现图4-37所示的刚才添加的文字“石英晶振”。



图4-36 “编辑2D图形文本”的对话框

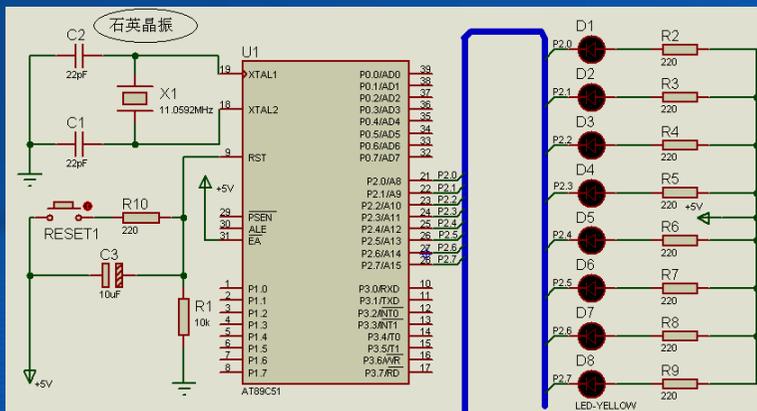


图4-37 电路原理图中添加的文字

4.6.4 加载目标代码文件、设置时钟频率及仿真运行

1. 加载目标代码文件、设置时钟频率

电路图绘制完成后，把keil μ Vision3下生成的“.hex”文件加载到电路图中的单片机内即可进行仿真了。

加载目标代码时需特别注意，因为运行时钟频率以单片机属性设置中的时钟频率（Clock Frequency）为准。

需要注意的是，在Proteus中绘制电路原理图时，8051单片最小系统所需的时钟振荡电路、复位电路，引脚与+5V电源的连接均可省略，不影响仿真效果。所以在本书各案例仿真时，有时为了使原理电路图清晰，时钟振荡电路、复位电路，引脚与+5V电源的连接均可省略不画，不会影响仿真的结果。

2. 仿真运行

完成上述所有操作后，只需要点击Proteus ISIS界面中的快捷命令按钮（图4-2左下角）运行程序即可。

这里再重温本章前面介绍的各种仿真运行命令按钮功能：



4.7 Proteus的各种虚拟仿真调试工具

Proteus下的电路原理图设计以及C51源程序编辑、编译完成后，还需要利用Proteus提供的多种虚拟仿真工具对其进行调试，以检查设计的正确性。本章介绍Proteus的各种虚拟仿真工具，如虚拟信号源、虚拟仪器以及诊断模式的设定与硬件断点的设置。

4.7.1 虚拟信号源

Proteus ISIS为用户提供了各种类型的虚拟激励信号源，并允许用户对其参数进行设置。单击图4-2左侧工具箱中的快捷图标，就会出现如图4-38所示的各种类型的激励信号源的名称列表及对应的符号。图4-38中选择的是正弦波信号源，在预览窗口中显示的是正弦波信号源符号。名称列表中各符号所对应的激励信号源见表4-2。

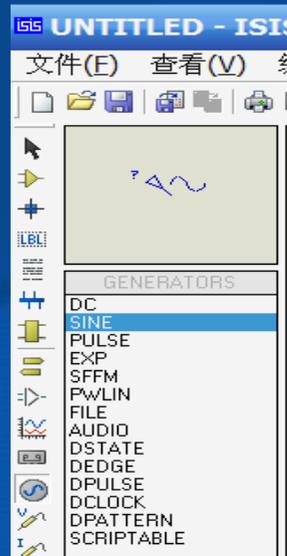


表 4-2 各种激励信号源及对应的符号

符号	激励信号源
DC	直流信号源
SINE	正弦波信号源
PULSE	脉冲发生器
AUDIO	音频信号发生器
DSTATE	单稳态逻辑电平发生器
DEDGE	跳沿信号发生器
DPULSE	单周期数字脉冲发生器
DCLOCK	数字时钟信号发生器
.....

图4-38 各种激励信号源及对应的符号

下面介绍几种在单片机系统虚拟仿真中经常用到的信号源。

4.7.1.1 直流信号源

直流信号源用来产生模拟直流电压或电流。

1. 直流信号源的选择与放置

- (1) 在图4-38所示的激励源的名称列表中，用鼠标左键单击“DC”，则在预览窗口中出现直流信号发生器的符号，如图4-39所示。
- (2) 在编辑窗口双击鼠标左键，则直流信号发生器被放置到原理图编辑窗口中。可使用镜像、翻转工具调整直流信号发生器在原理图中的位置。

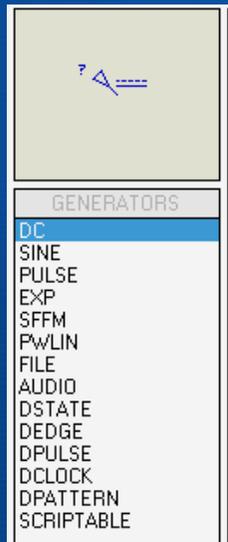


图4-39 直流信号源符号

2. 属性设置

- (1) 在原理图编辑区中，用鼠标左键双击直流信号源符号，出现如图4-40所示的属性设置对话框。
- (2) 在设置对话框的“模拟类型”栏中选择“DC”，如图4-40所示，即选择了直流电压源，直流电压源的电压值可在右上角设置。
- (3) 如果需要直流电流源，则选择图4-41中左下方的“电流源？”，在图4-41中右侧自动出现电流值的标记“Current(Amps)”，可根据需要填写电流值的大小。
- (4) 单击“确定”按钮，完成属性设置。



图4-40 直流信号源属性设置对话框



图4-41 电流源属性的设置

4.7.1.2 正弦波信号源

正弦波信号源是设计中经常用到的信号源之一。

1. 正弦波信号源的选择与放置

(1) 单击工具箱中的图标，出现图4-38所示的所有信号源的名称列表，然后用鼠标左键单击“SINE”，则在预览窗口中出现正弦波信号源的符号，如图4-38所示。

(2) 在编辑窗口双击鼠标左键，则正弦波信号发生器被放置到原理图编辑界面中。可使用镜像、翻转工具调整正弦波信号源在原理图中的位置。

2. 属性设置

(1) 双击原理图中的正弦波信号源符号，出现其属性设置对话框，如图4-42所示。属性设置对话框中主要选项的含义如下。



图4-42 正弦波属性的设置

- 右上角Offset (Volts)：正弦波的振荡中心电平。
- 在右侧的“Amplitude (Volts)：”栏目中，正弦波有3种幅值表示方式，其中“幅度”为振幅，即半波峰值电压，“峰值”是指峰值电压，“有效值”为有效值电压，以上3种表示方式任选一项即可。
- 在右侧的“时间：”栏目中，正弦波频率有3种表示方式，其中“频率 (Hz)”单位为Hz，“周期 (秒)”单位为s，填一项即可。“Cycles/Graph”为占空比，单独设置。
- 在右侧的“延时：”栏目中，对正弦波的初始相位进行选择，有两个选项，选填一个即可。其中延时 (单位s)是指在时间轴的延时；相位 (°)是指正弦波的初始相位。

(2) 在左上角“激励源名称”项中输入正弦波信号源的名称，例如输入“正弦信号源”。如在电路中要使用两个正弦波信号源，则分别输入两个正弦波信号源的名字“A”和“B”。两个正弦波信号源各参数设置如表4-3所示。

(3) 单击“确定”按钮，设置完成。

(4) 使用虚拟示波器 (见4.7.2节) 观察两个信号源产生的信号。具体操作如下：单击工具箱中的图标，出现激励源名称列表，用鼠标左键单击“SINE”，则在预览窗口中出现正弦波信号源的符号。在原理图编辑窗口双击鼠标左键，将两个正弦波信号发生器被放置到原理图编辑界面中。然后单击工具箱中的快捷按钮，则列出所有虚拟仪器名称，用鼠标左键单击列表区中的“OSCILLOSCOPE”，则在预览窗口中出现示波器的符号图标。在原理图编辑窗口单击鼠标左键，出现示波器的拖动图标，拖动到合适的位置，再次单击左键，示波器就被放置到原理图编辑窗口中。然后将示波器与正弦波信号源进行连接，如图4-43所示。

表 4-3 两个正弦波信号源的参数设置

信号源名称	幅值 (V)	频率 (Hz)	相位 (°)
正弦信号源 A	1	200	0
正弦信号源 B	2	200	90

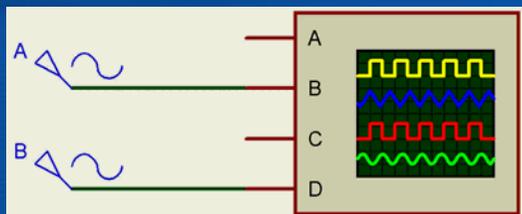


图4-43 两个信号源与示波器的连接

单击仿真按钮开始仿真运行，出现示波器运行界面，示波器屏幕上显示的两个正弦信号源的波形见图4-44。

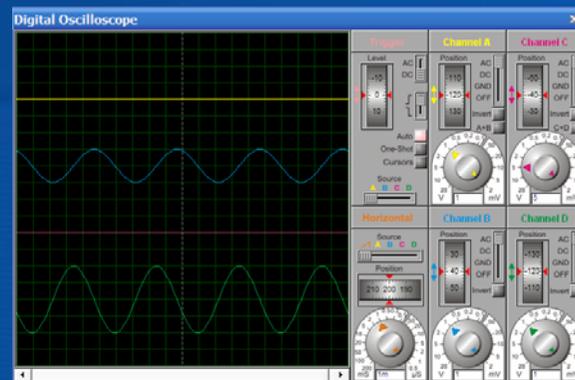


图4-44 示波器显示的两路正弦波信号波形

4.7.1.3 单周期数字脉冲信号源

在单片机系统电路原理图的虚拟仿真中，有时需要单个脉冲作为激励信号。

1. 单周期数字脉冲信号源的选择与放置

(1) 单击工具箱中的图标，出现所有激励源的名称列表，然后用鼠标左键单击“DPULSE”，则在预览窗口中出现单数字脉冲信号源的符号，如图4-45所示。

(2) 在编辑窗口双击鼠标左键，则单周期数字脉冲信号源被放置到原理图编辑界面中。可使用镜像、翻转工具调整单周期数字脉冲信号源在原理图中的位置。

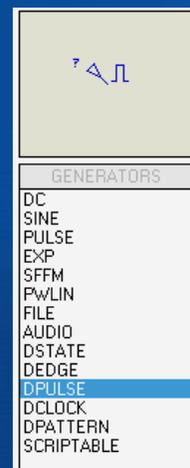


图4-45 单周期数字脉冲源的符号



图4-46 单周期数字脉冲属性设置对话框

2. 属性设置

(1) 双击原理图中的单周期数字脉冲发生器符号，出现单周期数字脉冲源属性设置对话框，如图4-46所示。

主要设置的参数如下。

- 脉冲极性：正脉冲或负脉冲。
- 脉冲时间：脉冲开始时间；脉冲宽度（秒）；脉冲停止时间（秒）。

(2) 在“激励源名称”项中输入单周期数字脉冲发生器的名称“单脉冲源”。

(3) 单击“确定”按钮，完成设置。

(4) 采用图表仿真模式（将在本章的4.7.3节介绍）可观察单周期数字脉冲信号的产生，如图4-47所示。

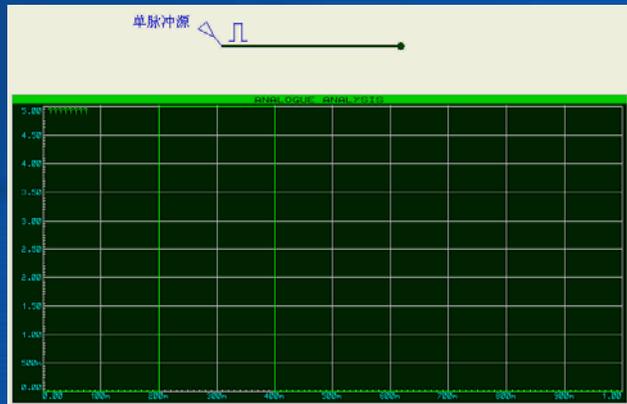


图4-47 单周期正脉冲图表仿真

4.7.1.4 数字时钟信号源

数字时钟信号源也是单片机系统虚拟仿真中经常用到的信号源。例如，制作一个频率计，需要有被测量的时钟脉冲信号源，这时可由数字时钟信号源产生时钟脉冲，用频率计来测量时钟脉冲的频率。

1. 数字时钟信号源的选择与放置

(1) 单击工具箱中的图标，出现图4-48所示的所有激励源的名称列表，用鼠标左键单击“DCLOCK”，则在预览窗口中出现数字时钟信号源的符号。

(2) 在编辑窗口双击鼠标左键，则数字时钟信号源被放置到原理图编辑界面中。可使用镜像、翻转工具调整数字时钟信号源在原理图中的位置。

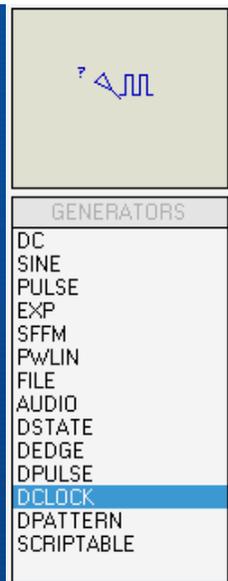


图4-48 激励源的名称列表以及数字时钟信号源的符号

2. 属性设置

- (1) 双击原理图中的数字时钟信号源符号，出现数字时钟信号源属性设置对话框，见图4-49。
- (2) 在“激励源名称”项中输入自定义的数字时钟信号发生器的名称“数字脉冲源”，并在“时间”项中把“频率”值设为10Hz。
- (3) 单击“确定”按钮，完成设置。
- (4) 采用图表仿真模式来观察数字脉冲信号的产生，如图4-50所示。由于频率设为5Hz，所以周期为200ms，图表的时间横轴的范围设为0~1s，所以可观察到5个脉冲。



图4-49 数字时钟信号源属性设置对话框

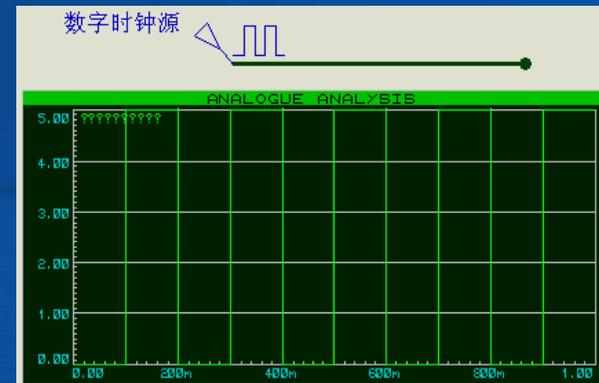


图4-50 数字时钟信号源图表仿真结果

4.7.2 虚拟仪器

Proteus ISIS为用户提供了多种虚拟仪器，单击工具箱中的快捷按钮，可列出所有的虚拟仪器名称，如图4-51所示。

4.7.2.1 虚拟示波器

虚拟示波器是最常用的虚拟仪器之一。

1. 放置虚拟示波器

- (1) 用鼠标左键单击图4-51列表区中的“OSCILLOSCOPE”，则在预览窗口中出现示波器的符号图标。
- (2) 在编辑窗口单击鼠标左键，出现示波器的拖动图标，拖动到合适的位置，再次单击左键，示波器就被放置到原理图编辑窗口中。

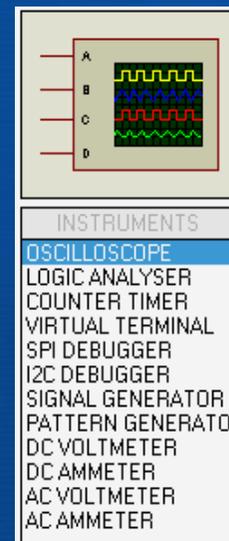


图4-51 虚拟仪器名称列表

2. 虚拟示波器的使用

- (1) 示波器的4个接线端A、B、C、D可以分别接4路输入信号，该虚拟示波器能同时观看4路信号的波形。
- (2) 按照图4-52进行连接。把200Hz、1V的正弦激励信号加到示波器的B通道。
- (3) 单击仿真按钮开始仿真，出现示波器运行界面，如图4-53所示。可以看到，左面的图形显示区有4条不同颜色的水平扫描线，其中B通道由于接有正弦信号源，已经显示出正弦波形。

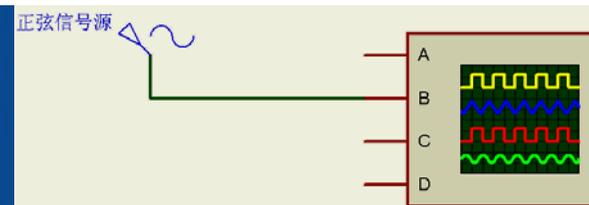


图4-52 正弦信号与示波器的连接

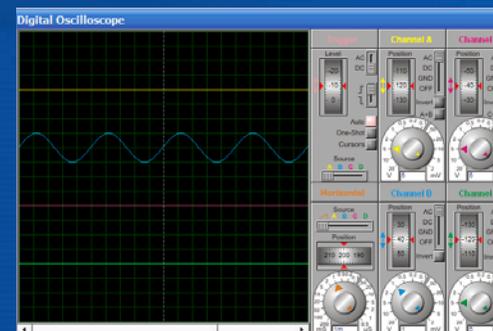


图4-53 仿真运行后的示波器界面

示波器的操作区共分为6个部分，如图4-54所示。

- Channel A: A通道。
- Channel B: B通道。
- Channel C: C通道。
- Channel D: D通道。
- Trigger: 触发区。
- Horizontal: 水平区。

下面对操作区给予简要说明。

(1) 4个通道区: 4个区的操作功能都一样。主要有两个旋钮，

“Position”滚轮旋钮用来调整波形的垂直位移；下面的旋钮用来调整波形的Y轴增益，白色区域的刻度表示图形区每格对应的电压值。外旋钮是粗调，内旋钮是微调。在图形区读取波形的电压值时，会把内旋钮顺时针调到最右端。

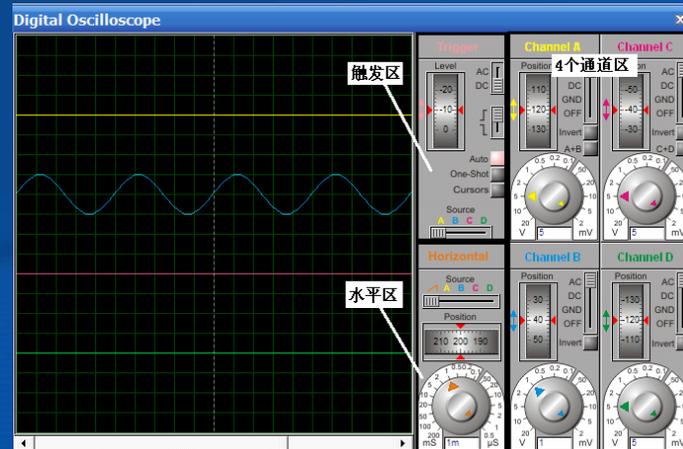


图4-54 示波器的操作区

(2) 触发区: 该区中的“Level”滚轮旋钮用来调节水平坐标，水平坐标只在调节时才显示。“Auto”按钮一般为红色选中状态。“Cursors”光标按钮选中后变为红色，可以在图标区标注横坐标和纵坐标，从而读取波形的电压、时间值及周期，如图4-55所示。单击右键可以出现快捷菜单，选择清除所有的标注坐标、打印及颜色设置。

(3) 水平区: “Position”用来调整波形的左右位移，下面的旋钮调整扫描频率。当读周期时，应把内环的微调旋钮顺时针旋转到底。

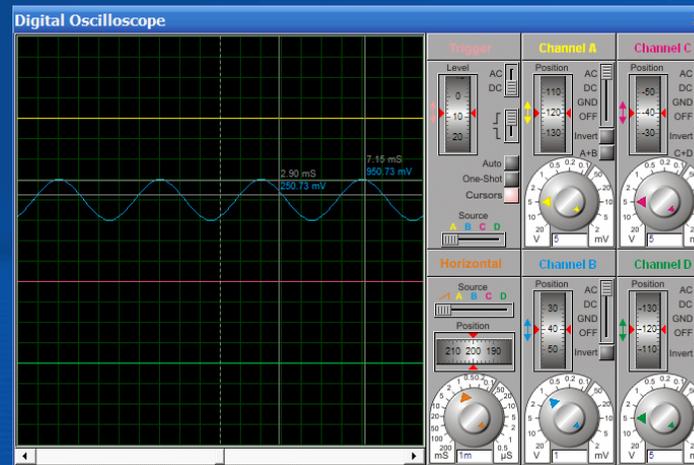


图4-55 触发区“Cursors”按钮的使用

4.7.2.2 虚拟终端

Proteus VSM提供的虚拟终端的原理图符号如图4-56所示。虚拟终端相当于键盘和屏幕的双重功能。



图4-56 虚拟终端的原理图符号

例如，如图4-57所示单片机与上位机（PC机）之间串行通信时，免去了PC机的仿真模型，直接由虚拟终端VT1、VT2显示出经RS232接口模型与单片机之间异步发送或接收数据的情况。VT1显示的数据表示了单片机经串口发给PC机的数据，VT2显示的数据表示了PC机经RS232接口模型接收到的数据，从而省去了PC机的模型。虚拟终端在运行仿真时会弹出一个仿真界面，当PC机向单片机发送数据时，可以和虚拟

键盘关联，用户可从虚拟键盘经虚拟终端输入数据；当PC机接收到单片机发送来的数据后，虚拟终端相当于一个显示屏，会显示相应信息。

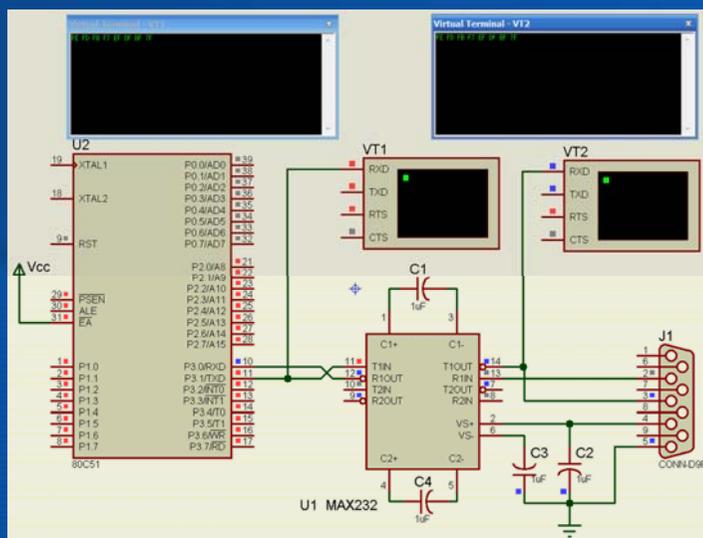


图4-57 单片机与PC机之间串行通信的虚拟终端

图4-56所示的虚拟终端共有4个接线端，其中RXD为数据接收端，TXD为数据发送端，RTS为请求发送信号，CTS为清除传送，是对RTS的响应信号。

在使用虚拟终端时，首先要对其属性参数进行设置。双击元件，出现如图4-58所示的虚拟终端属性设置对话框。

需要设置的参数主要有下面几个。

- Baud Rate: 波特率，范围为300~57 600B/s。
- Data Bits: 传输的数据位数，7位或8位。
- Parity: 奇偶校验位，包括奇校验、偶校验和无校验。
- Stop Bits: 停止位，具有0、1或2位停止位。
- Send XON/XOFF: 第9位发送允许/禁止。



图4-58 虚拟终端属性设置对话框

4.7.2.3 I2C调试器

I2C总线是Philips公司推出的芯片间的串行传输总线。它只需要两根线（即串行时钟线SCL和串行数据线SDA）就能实现总线上各元器件的连接与全双工同步数据传送。芯片间接口简单，非常容易实现单片机应用系统的扩展。

I2C总线采用元器件地址的硬件设置方法，避免了通过软件寻址元器件片选线的方法，使硬件系统的扩展简单灵活。按照I2C总线规范，主机只要在程序中装入这些标准处理模块，根据数据操作要求完成I2C总线的初始化，启动I2C总线，就能自动完成规定的数据传送操作。由于I2C总线接口集成在芯片内，用户无需设计接口，只需将芯片直接挂在I2C总线上。如果从系统中直接去除某一芯片或添加某一芯片，对总线上其他芯片并没有影响，从而使系统的组建与重构的时间大为缩短。

I2C总线接口集成在芯片内，用户无需设计接口，只需将芯片直接挂在I2C总线上。如果从系统中直接去除某一芯片或添加某一芯片，对总线上其他芯片并没有影响，从而使系统的组建与重构的时间大为缩短。

(1) I2C调试器

图4-51中的虚拟仪器名称列表中的“I2C DEBUGGER”就是I2C调试器，允许用户监测I2C接口总线，可以查看I2C总线发送的数据，同时也可以作为从器件向I2C总线发送数据。

(2) I2C调试器的使用

I2C调试器的原理图符号如图4-59所示。



图4-59 I2C调试器的原理图符号

I2C调试器有3个接线端。

- SDA：双向数据线。
- SCL：时钟线，双向。
- TRIG：触发输入，能使存储序列被连续地放置到输出队列中。

双击I2C调试器符号，打开属性设置对话框，如图4-60所示。需要设置的主要参数如下。

- Address byte 1：地址字节1，如果使用此调试器仿真一个从器件，则用于指定从器件的第1个地址字节。
- Address byte 2：地址字节2，如果使用此调试器仿真一个从器件，并期望使用10位地址，则用于指定从器件的第2个地址字节。

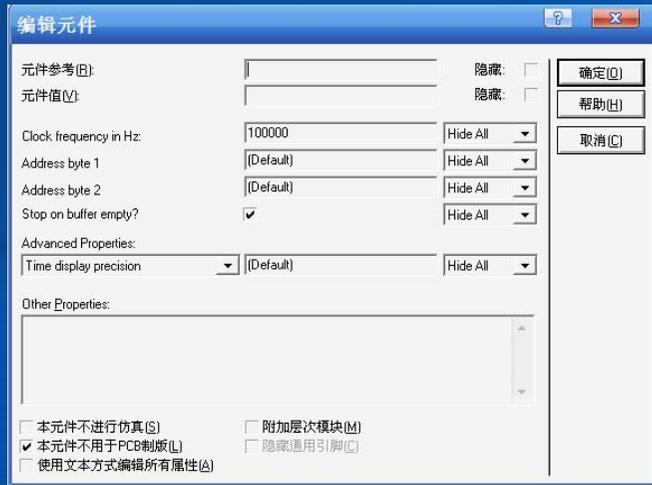


图4-60 I2C调试器属性设置对话框

(3) I2C调试器的应用

下面通过例子来说明I2C调试器的功能。

如图4-61，单片机通过控制I2C总线向带有I2C接口的存储器芯片AT24C02进行读写，可用I2C调试器来观察I2C总线数据传送的过程。

启动仿真，鼠标右键单击I2C调试器，出现I2C调试窗口，如图4-62所示。该调试窗口分为4部分，即数据监测窗口、队列缓冲区、预传输队列和队列容器。先后单击图4-61中的KEY1和KEY2按钮开关，即单片机向AT24C02写入和读出数据。此时在I2C调试窗口中的数据监测窗口就会出现写入和读出的数据，第1行为单片机通过I2C总线向

AT24C02写入的数据，第2行为单片机通过I2C总线从AT24C02读出的数据，如图4-63所示。

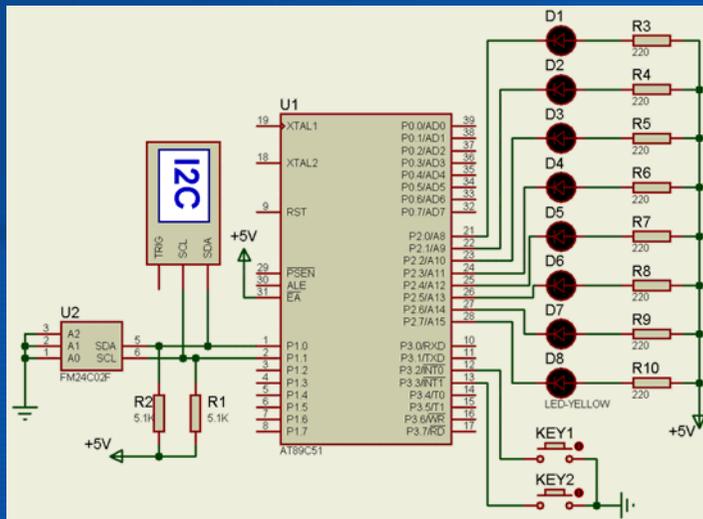


图4-61 单片机读写带有I2C接口的存储器AT24C02的电路原理图



图4-62 I2C调试窗口

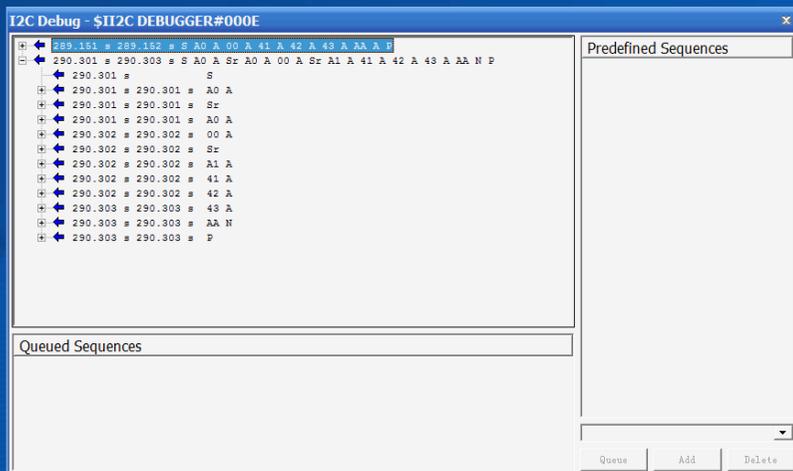


图4-63 I2C调试窗口及单片机向AT24C02写入和读出的数据

单击其中的“+”符号，还能把I2C总线传送数据的细节展现出来。I2C总线传送数据时，采用了特别的序列语句，出现在数据监测窗口中。此语句用于指定序列的启动和确认，下面是特别序列字符的含义。

S：启动序列。

Sr：重新启动序列。

P：停止序列。

N：接收（未确认）。

A：接收（确认）。

通过这些特别序列字符的含义，并根据I2C总线数据帧的格式，容易看出图4-63数据监测窗口中的两行序列语句所代表的意义。

用户也可使用I2C调试窗口来进行数据的发送。在窗口的右下方“队列容器”中输入需要传送的数据。单击“Queue”按钮，输入的数据将被放入到队列缓冲区（Queue Sequences）中，单击仿真运行按钮，数据发送出去。也可以单击“Add”按钮把数据暂放到预传输队列（Predefined Sequences）窗口中备用，需要时，在预传输队列窗口中选中要传输的数据，单击“Queue”按钮把要传输的数据加到队列缓冲区中。数据发送完后，队列缓冲区清空，在数据监测窗口显示发送的信息。

由上述介绍可见，使用I2C调试器可非常方便地观察I2C总线上传输的数据，非常容易地手动控制I2C总线发送的数据，为I2C总线的单片机系统提供了十分有效的虚拟调试手段。

4.7.2.4 SPI调试器

SPI（Serial Peripheral Interface，串行外设接口）总线是Motorola公司提出的一种同步串行外设接口，允许单片机与各种外围设备以同步串行通信方式交换信息。

图4-51中的“SPI DEBUGGER”为SPI调试器。SPI调试器允许用户查看沿SPI总线发送和接收的数据。

如图4-64所示为SPI调试器的原理图符号。

SPI调试器共有5个接线端。分别介绍如下。

- DIN：接收数据端。
- DOUT：输出数据端。
- SCK：时钟端。
- SS*：从模式选择端，从模式时此端必须为低电平才能使终端响应；当工作在主模式下，而且数据正在传输时此端才为低电平。



图4-64 SPI调试器的原理图符号

- TRIG: 输入端, 能把下一个存储序列放到SPI的输出序列中。
- 双击SPI的原理图符号, 可以打开它的属性设置对话框, 如图4-65所示。
- 对话框主要参数如下。
- SPI Mode: 有3种工作模式可选, Monitor为监控模式, Master为主模式, Slave为从模式。
 - Master clock frequency in Hz: 主模式的时钟频率 (Hz)。
 - SCK Idle state is: SCK空闲状态为高或低, 选择一个。
 - Sampling edge: 采样的边沿, 指定DIN引脚采样的边沿, 选择SCK从空闲到激活状态, 或从激活到空闲状态。
 - Bit order: 位顺序, 指定传输数据的位顺序, 可先传送最高位MSB, 也可先传送最低位LSB。

SPI调试器的窗口如图4-66所示, 它与I2C调试窗口是相似的。



图4-65 SPI调试器属性设置对话框



图4-66 SPI调试器的窗口

1. 使用SPI调试器接收数据

- (1) 将SCK和DIN引脚连接到电路的相应端。
- (2) 将光标放置在SPI调试器之上，双击SPI的原理图符号，打开属性设置对话框进行参数设置，设SPI为从模式，时钟频率与外时钟一致。
- (3) 运行仿真，弹出SPI的仿真调试窗口。
- (4) 接收的数据将显示在数据监测窗口中。

2. 使用SPI调试器发送数据

- (1) 将SCK和DIN引脚连接到电路的相应端。
- (2) 将光标放置在SPI调试器之上，双击SPI的原理图符号，打开属性设置对话框进行参数设置，把SPI调试器设置为主模式。

- (3) 单击仿真按钮，弹出SPI的仿真调试窗口。
- (4) 单击暂停仿真按钮，在队列容器中输入需要传输的数据。单击“Queue”按钮，输入的数据将被放入到数据传输队列“Buffered Sequences”中，再次单击仿真运行按钮，数据发送出去。也可以按“Add”按钮把要发送的数据暂放到预传输队列中备用，需要时加到传输队列中。
- (5) 数据发送完后，数据传输队列“Buffered Sequences”清空，数据监测窗口显示发送的信息。

4.7.2.5 计数器/定时器

单击图4-51列表中的“COUNTER TIMER”项，即选择了计数器/定时器，计数器/定时器的原理符号及测试电路连线如图4-67所示。CLK为外加的计数脉冲输入。

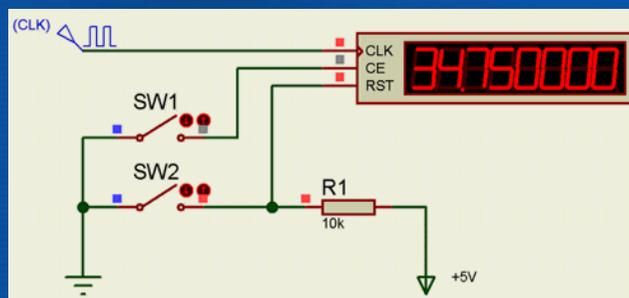


图4-67 计数器/定时器电路

该虚拟仪器有3个输入端。

- CLK：在计数和测频时，为计数信号的输入端。
- CE：计数使能端（Counter Enable），可通过计数器/定时器的属性设置对话框设为高电平或低电平有效，当CE无效时，计数暂停，保持目前的计数值不变，一旦CE有效，计数继续进行。
- RST：复位端，可设为上跳沿（Low-High）有效或下跳沿（High-Low）有效。当有效跳沿到来时，计时或计数复位到0，然后立即从0开始计时或计数。

用右键单击计数器/定时器符号，再选择“编辑属性”，就会出现计数器/定时器的属性设置窗口，如图4-68所示。



图4-68 计数器/定时器的属性设置窗口与工作方式设置

计数器/定时器有4种工作方式，可通过属性设置对话框中的“Operating Mode”来选择，如图4-69所示。



图4-69 计数器/定时器的工作方式设置

单击“Operating Mode”右边的下拉菜单，出现如图4-68所示的工作方式的选择项，包含以下选项。

- Default: 缺省工作方式，即计数方式。
- Time (secs): 计时方式，相当于一个秒表，最多计100s，精确到1 μ s。CLK端无需外加输入信号，内部自动计时。由CE和RST端来控制暂停或重新从零开始计时。
- Time (hms): 计时方式，相当于一个具有时、分、秒的时钟，最多计10h，精确到1ms。CLK端无需外加输入信号，内部自动计时。由CE和RST端来控制暂停或重新从零开始计时。
- Frequency: 测频方式，在RST没有复位以及CE有效的情况下，能稳定显示CLK端外加的数字脉冲信号的频率。
- Count: 计数方式，对外加时钟脉冲信号CLK进行计数，如图4-68所示的计数显示，最多8位计数，即99999999。

下面通过两个具体例子，来看一下计数器/定时器的应用。

【例4-1】按照图4-70，外部时钟CLK不接。双击计数器/定时器符号，设置其属性，如图4-69所示。设操作模式为“Time (hms)”，即定时器（计时）方式；计时使能端CE设为“High”，即高电平有效，开关SW1合上为低电平时计时暂停。复位端设为“Low-High”，即上跳沿有效。

运行仿真，可显示如图4-70所示的定时器（计时）方式，合上图中开关SW1，则计时停止，打开开关SW1则继续计时；合上开关SW2再打开，计时器清零，打开开关SW1后从零重新计时。

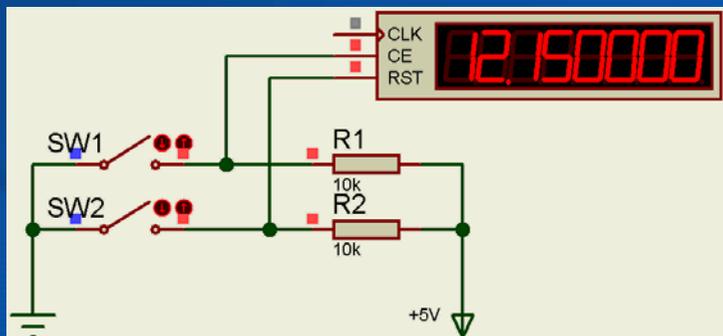


图4-70 计时模式的电路仿真

【例4-2】把计数器/定时器的属性按图4-69修改，设操作方式为

“Frequency”，即测频方式，其他不变，按照图4-68连接，设外接数字时钟的频率为100Hz，图中两个开关SW1、SW2位于打开状态，运行仿真，出现如图4-71所示的测频结果。拨动两个开关可以看到使能和清零的效果。

4.7.2.6 电压表和电流表

Proteus VSM提供了4种电表，如图4-72所示，分别是DC Voltmeter（直流电压表）、DC Ammeter（直流电流表）、AC Voltmeter（交流电压表）和AC Ammeter（交流电流表）。

1. 4种电表的符号

在图4-72的元件列表中，分别把上述4种电表放置到原理图编辑窗口中，

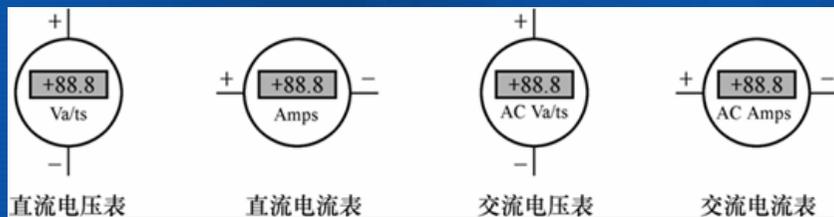


图4-72 4种电表的原理图符号

2. 属性设置

双击任一电表的原理图符号，出现其属性设置对话框，如图4-73所示是直流电流的属性设置对话框。

在“元件参考”项填入该直流电流表的名字，元件值不填。在显示范围

“Display Range”中有4个选项，用来设置该直流电流表是安培表

（Amps）、毫安表（Milliamps）还是微安表（Microamps），默认是安培表，然后单击“确定”按钮即完成设置。

其他3种表的属性设置与此类似。

3. 电表的使用

4个电表的使用和实际的交、直流电表一样，电压表并联在被测电压两端，电流表串联在电路中，要注意方向。运行仿真时，直流电表出现负值，说明电表的极性接反了。两个交流电表显示的是有效值。



图4-73 直流电流表的属性设置对话框

4.7.3 图表仿真

Proteus VSM为用户提供了交互式动态仿真和静态图表仿真功能，如果采用动态仿真，这些虚拟仪器的仿真结果和状态随着仿真结束也就消失了，不能满足打印及长时间的分析要求。而静态图表仿真功能随着电路参数的修改，电路中的各点波形将重新生成，并以图表的形式留在电路图中，供以后分析或打印。本节介绍Proteus ISIS的图表仿真功能。

图表仿真能把电路中某点对地的电压或某条支路的电流与时间关系的波形自动绘制出来，且能保持记忆。例如，观察单脉冲的产生，如果采用虚拟示波器观察，在单脉冲过后，就观察不到单脉冲波形。如果采用图表仿真，就可把单脉冲波形记忆下来，显示在图表上。下面以图4-47的单周期脉冲图表仿真为例，介绍如何进行图表仿真。

图表仿真的具体步骤如下。

1. 选择观测点

首先把单周期脉冲源与图表放置在电路图中，单周期脉冲源的输出就是图表仿真的观测点。具体操作如下。

- (1) 放置单周期脉冲源。单击左侧工具箱中的图标，然后从列表中选择“DPULSE”，在原理图编辑窗口双击鼠标左键，将单周期脉冲源放置在原理图编辑窗口中。双击单周期脉冲源符号，设置属性。
- (2) 放置图表。单击左侧工具箱中的图标，从列表中选择模拟图表“ANALOGUE”，如图4-74所示。在原理图编辑窗口双击鼠标左键，用左键拖出一个方框，将模拟图表放置在编辑窗口中。如图4-75所示。

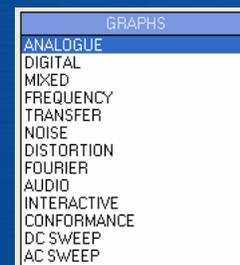


图4-74 选择模拟图表

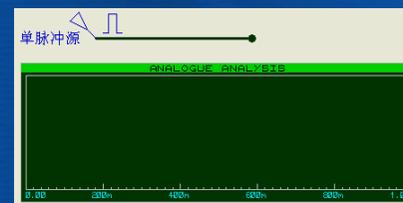


图4-75 原理图编辑窗口中放置单周期脉冲源与模拟图表

需要说明的是，在图4-74的列表中可选择各种类型图表，如模拟图表、数字图表、混合图表等。如要观察数字信号，可选用数字图表。如果同一图表中，观察的信号既有模拟信号又有数字信号，应选择“MIXED”，即混合图表。

如果要对电路的某点进行图表仿真形式的观测，那么就应当在电路中的某观测点放置电压探针。

2. 编辑图表与添加图线

鼠标右键单击图4-75中的图表，出现下拉菜单，如图4-76所示。选择“编辑图表”项，出现“编辑瞬态图表”对话框，如图4-77所示。

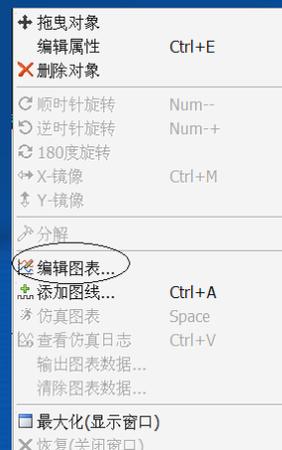


图4-76 选择“编辑图表”

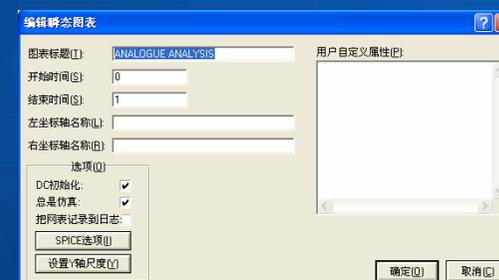


图4-77 编辑瞬态图表对话框

“编辑图表”对话框各参数设置完成后，单击图4-76所示的“添加图线”项，出现如图4-78所示的对话框。本对话框实质就是要建立观测点与图标的关联，即把观测点处的波形显示在图表上，最多可设置4个观测点（可设4个探针）。



图4-78 添加图线对话框

本例只有一个观测点，即单脉冲源的输出，因此单击“探针P1”栏右侧的下拉按钮，选择“单脉冲源”即可。如果有4个观测点，则需要分别在电路中分别设置探针，并分别给探针起名，然后把4个探针的名称添加到相应的栏目中即可，这样就可把4个探针处的波形同时显示在图表上。利用“表达式”栏还可观察几个观测点叠加后的波形，例如想看P1波形和P3波形叠加后的波形，可在表达式的栏目中填入“P1+P3”，就可将P1波形和P3波形叠加后的波形显示在图表中。该对话框中还有其他参数，如“轨迹类型”，有4个类型选项，由于本例是要显示单脉冲源的输出波形，因而是属于“模拟”类型的。此外，还有“坐标轴”的位置的选择项。

【例4-3】假设流水灯在运行时，当P2.5控制的灯D6点亮以后，则流水点亮的的工作不正常，要求在P2.5控制的灯亮以后设置硬件断点，然后单步执行，查找故障。这里设置硬件断点的条件是P2.5=0。断点设置步骤如下：

(1) 在欲触发断点的导线（总线）上放置电压探针，本例是在P2.5线上放置电压探针，如图4-81所示。

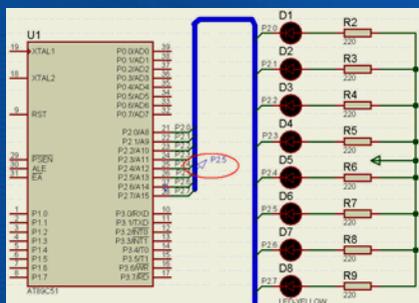


图4-81 放置电压探针

- (2) 在探针处点击右键，出现“编辑电压探针”对话框，如图4-82所示。
- (3) 在对话框（见图4-82）的“实时断点”栏根据断点的性质，选择“数字的”或者“模拟的”并指定触发值，本例选择“数字的”。对于数字网点和单导线，“触发值（V）”选定1或0对应的是逻辑高或逻辑低；对于模拟网点，将会是一具体的电压值或电流值。用户设定“开始时间”作为起控时间（Arm），使得断点在指定的起控时间开始后有效。



图4-82 “编辑电压探针”对话框

(4) 点击“确定”退出对话框。设置完成后电路原理图如图4-83所示。

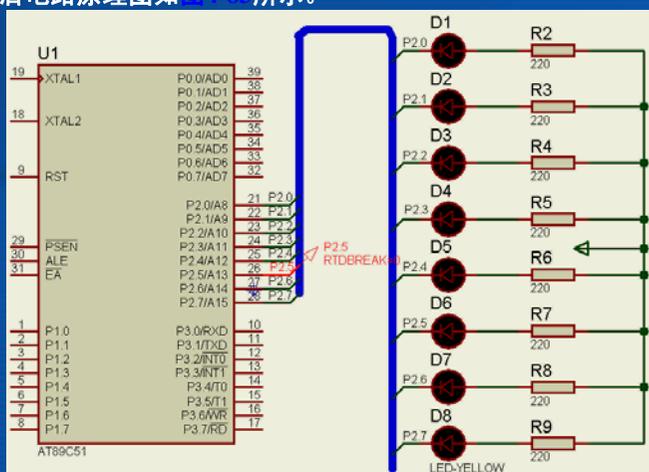


图4-83 电压探针设置完成后的电路原理图

仿真运行程序，当流水灯D6点亮时，即P2.5=0，满足了设定的硬件断点条件，使程序停止运行，如图4-84所示。此时用户可在此硬件断点处，再利用单步执行等其它手段，来检查系统的故障。

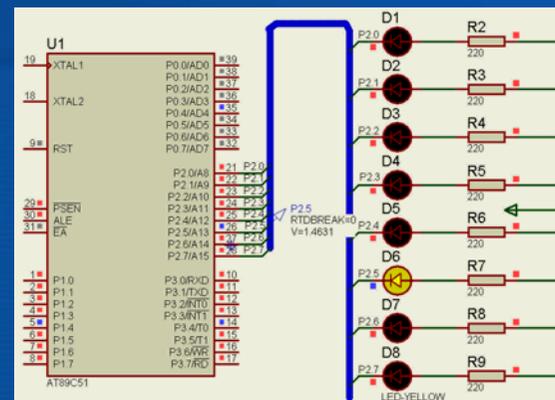


图4-84 运行到P2.5控制的D6点亮的硬件断点处停下

本例中，设置的是数字断点，当P2.5=0时，实时数字断点触发器RTDBREAK检测到P2.5脚的二进制数等于设定值时，则会触发断点。

对于模拟的断点，实时断点发生器有实时电压、电流断点**触发器**RTVBREAK和**RTI-BREAK**：当触发器引脚上的电压或流经的电流超过设定的值将触发断点，为上升沿触发。

此外还有实时电压、电流**监视器**RTVMON和RTI-MON，即当输入电压或当流经的电流不在设定范围内，可触发断点、警告或是错误。因此可将RTVMON和RTI-MON用于创建仿真模型，当模型中的电压或电流超过设定的工作极限时警告用户。限于篇幅，读者可查阅相关资料。