

第一章 虚拟仿真实验技术概述

1.1 PROTEUS 软件入门

一、工具简介

Proteus 软件是英国 Lab Center Electronics 公司出版的 EDA 工具软件，中国总代理为广州风标信息技术有限公司。该软件不仅具有其它 EDA 工具软件的模拟和数字电路仿真功能，还能仿真单片机及外围器件。是目前比较好的电子电路及 MCU 虚拟仿真工具。

二、版本信息

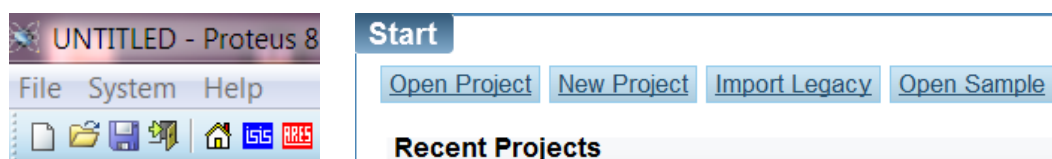
Proteus8.0 是目前较新的版本（最新的是 8.1 版），与以前其他版本相比，总体结构和界面变化较大，PCB 设计和 VSM 设计功能都有所加强。Proteus 是向下兼容的：Proteus8.0 所生成的文件在 Proteus7 里不能运行，而 Proteus7 生成的文件可以在 Proteus8.0 里运行。

与 Proteus7.0 相比，Proteus8.0 自带汇编语言的源代码编辑、编译器，不再需要外部文本编辑器，对汇编语言编程给予很大便利；同时，Proteus 8.0 或以上版本支持 C51 语言的编译和调试，这需要电脑本身已经安装 Keil 或者 IAR 等可以编译 C51 语言的软件。

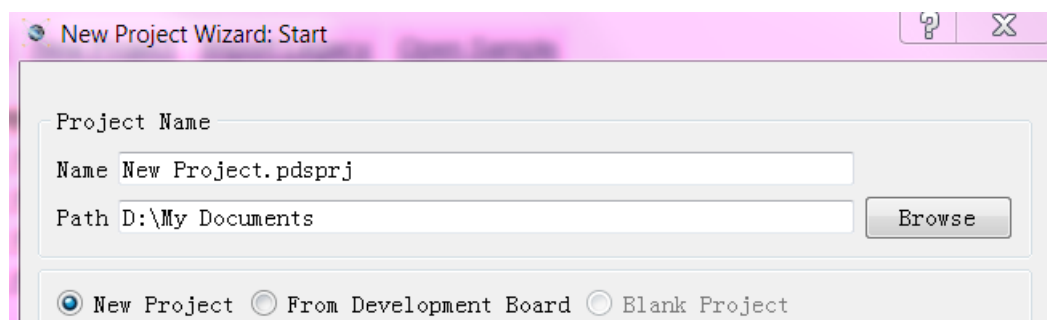
三、原理图绘制过程

创建一个新工程

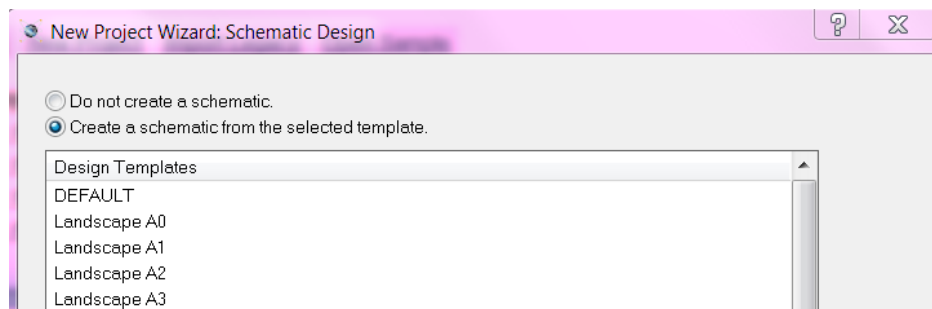
点击桌面图标 “Proteus 8 Professional” 或单击 “开始菜单”，选择 “Proteus 8 Professional” 文件夹，再点击 “Proteus 8 Professional” 打开应用程序。在绘制原理图之前，我们必须新建一个 Proteus 工程。点击在 Proteus 主页顶部菜单栏 “File” 下的空白按钮（如下左图所示），或者在页面 “Start” 栏目下选择 New Project（如下右图所示）：



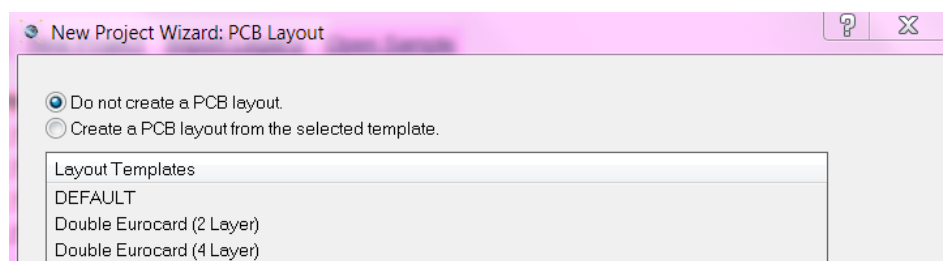
在 “New Project Wizard” 的第一页指定这个 project 的文件名和保存路径。



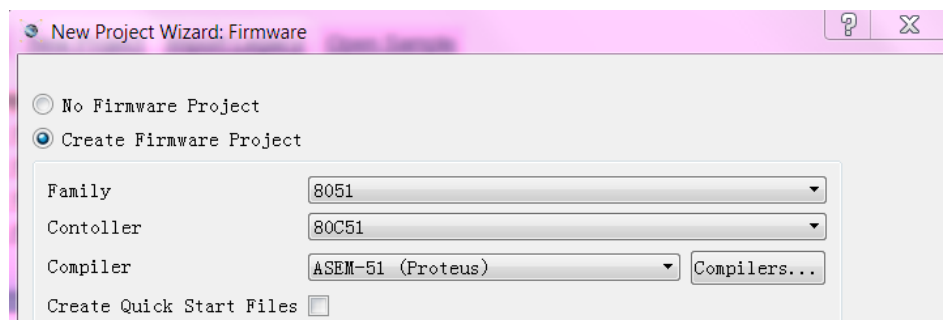
在下一页的顶部选项卡中，勾选“从选中的模版中创建原理图”（Create a Schematic from the selected template），然后选择默认模版（DEFAULT）。



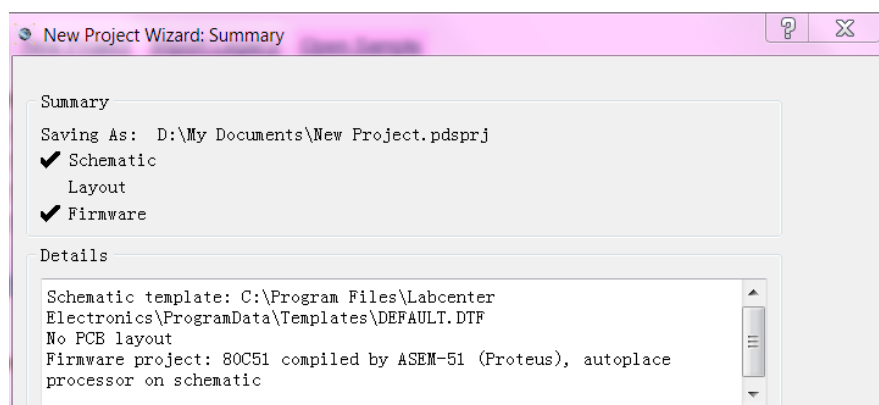
继续点击 Next，选择“从选择的模板中创建 PCB 设计”（Create a PCB layout from the selected template），在此可继续选择默认（DEFAULT）。如果不需要进行 PCB 设计，可直接选择 Do not create a PCB layout。



继续点击 Next，在仿真页面选择 Create Firmware Project，并设置代码编译器。Family（系列）：8051；Contoller（控制器）：80C51；Compiler（编译器）：ASEM-51。也可以直接选择 No Firmware Project 跳过，需要编译的时候再在 Source Code 页面设置。

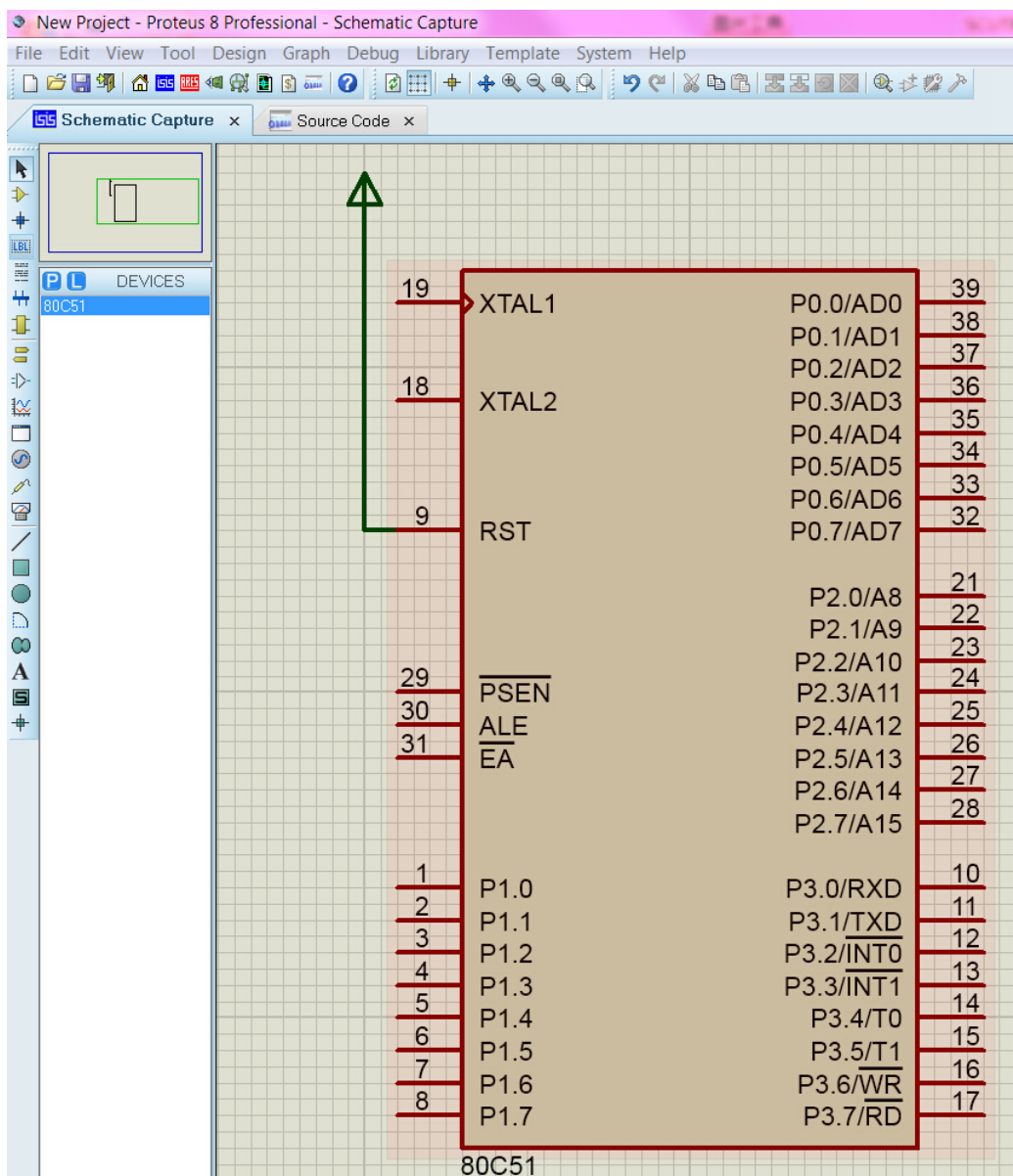


点击“Next”，到汇总页如下图所示。点击“完成”按钮，完成新建工程过程。



使用向导

建立好项目后，若选择 MCU 仿真，软件将打开两个选项卡：原理图页面和 Source Code 页面，原理图页面将直接放置一个 MCU 器件，如下图所示（如暂时不需要 MCU，可直接删除）。如果没有选择 MCU 仿真，原理图页面将是一片空白。



原理图页面显示最大的区域称为编辑窗口，它的作用类似于一个绘图窗口，是放置和连接元器件的区域。在屏幕左上方的那个较小的区域称为预览窗口，如上图所示。预览窗口用来预览当前的设计图，其中蓝色边框显示的是当前图纸的边框，而绿色边框表示的是编辑窗口的大小。预览窗下方是对象选择器（即对象列表窗），用来选择器件、符号和其他库对象。当从对象选择器中选择一个新对象时，预览窗口用来预览这个被选中的对象。

在对象选择器或在预览窗口右键单击鼠标，弹出菜单中包括“Auto hide”选项。选择该选项后，对象选择器和预览窗口最小化为一个弹出框，使编辑窗口占有最大的可视面积。当鼠标放在弹出框上或者选择不同的对象模式，弹出框重新打开成对象选择器和预览窗口。

预览窗口和对象选择器左侧是模式栏。选择了不同模式，鼠标可以在编辑窗口执行不同的操作，也可以从对象选择器里选取不同的对象。模式栏从上往下前八个模式较为常用：


- 1) Selection Mode: 鼠标可以拖曳，移动编辑窗口内的元器件或连线。
- 2) Component Mode: 在对象选择器查找元器件，鼠标在编辑窗口点击就可以放置元器件。
- 3) Junction Dot Mode: 鼠标在导线上点击可以放置节点，允许多条导线在节点电气连接。
- 4) Wire Label Mode: 鼠标在导线上点击，为导线赋予名称，可以实现同名电气连接。
- 5) Text Script Mode: 鼠标在编辑窗口点击，可以添加文字标注信息。
- 6) Buses Mode: 鼠标在编辑窗口内点击拖动，可以画总线
- 7) Subcircuit Mode: 鼠标在编辑窗口可以画子电路方框及添加其输入输出端口。
- 8) Terminals Mode: 鼠标在编辑窗口内放置电气连接端子。

注意：切记在执行某种操作之前，必须先点击模式栏中相应的模式。否则操作容易失败。完成操作后，要么点击下一个操作的模式，要么点击 Selection Mode，返回默认模式。

浏览编辑窗口——缩放

有如下几种方法可以对原理图进行缩放：


- 1) 移动鼠标到需要缩放的地方，滚动鼠标滚轮进行缩放。
- 2) 移动鼠标到需要缩放的地方，按键盘 F6 放大，F7 缩小。
- 3) 按下 SHIFT 键，鼠标左键拖拽出需要放大的区域，即 SHIFT ZOOM 功能。
- 4) 使用工具条中的 Zoom in(放大)、Zoom Out(缩小)，Zoom All(全图)，Zoom Area(放大区域)

进行操作，如右图所示：

注意：按 F8 键可以在任何时候显示整张图纸；SHIFT ZOOM 功能和滚轮缩放也可应用于预览窗口，在预览窗口进行操作，编辑窗口将有相应变化。

浏览编辑窗口——平移

有如下几种方式在编辑窗口进行平移操作。

- 1) 按下鼠标滚轮，出现光标，表示图纸已处于提起状态，可以进行平移。
- 2) 鼠标置于要平移到的地方，按快捷键 F5 进行平移。
- 3) 按下 SHIFT 键，在编辑窗口边缘移动鼠标，进行平移（Shift Pan）。
- 4) 若需平移至相距较远的地方，最快捷的方式是在预览窗口点击显示该区域
- 5) 使用工具栏平移按钮进行平移。









注意：使用第一种方式进行平移时，在图纸提起状态下，也可使用鼠标滚轮进行缩放操作。掌握上述操作将会大大提高原理图绘制效率，特别是滚轮的使用。不但可以用于缩放，还可以用于平移。学会使用滚轮来进行缩放和移动将节省宝贵的时间。

可以在编辑窗口显示网格点和网格线来作为视觉辅助。在“视图”菜单下调用“切换网格”命令，或者在工具栏上点网格图标，可以切换网格的显示。网格可以帮助你放置器件和进行连线进行快速对齐。如果你看不到网格，可能需要调整你的显示器的对比度，或者在“模版”->“设置设计颜色”菜单下改变网络的颜色（默认的颜色是轻灰色）。

设计视觉帮助

ISIS 是一个界面友好的应用平台，提供两种可视化方法，帮助使用者了解正在进行的操作：一是鼠标指向对象时，对象会覆盖红色；二是鼠标光标也会根据其功能发生改变。

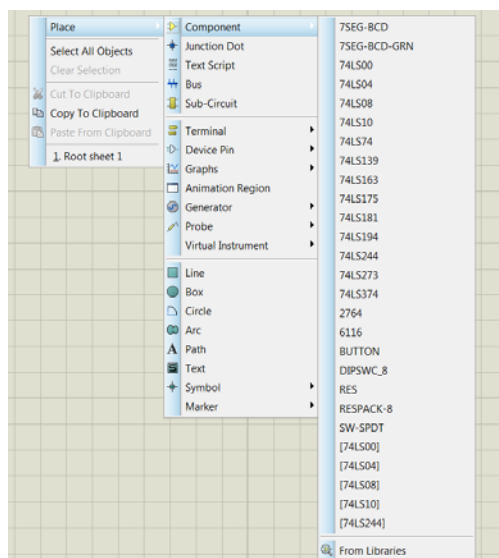
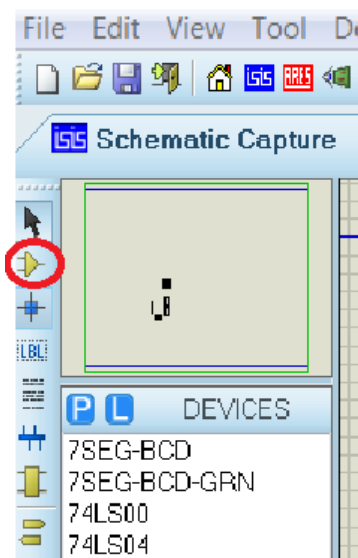
简单来说，就是当鼠标移动到某一元件上时，光标的样式会发生改变，表明光标所指的对象可被选中和操作，这个对象称之为“热对象”；不同样式的鼠标光标，表明当您按下鼠标左键时，能够对“热对象”进行不同的操作。以下是光标含义说明列表：

光标	描述
	标准光标-没有指向任何对象时显示。
	放置光标-显示为白色笔型光标，单击放置对象。
	连线光标-显示为绿色笔型光标，单击左键开始连线。
	总线光标-显示为蓝色笔型光标，单击左键开始绘制总线。
	选择光标-单击左键时光标所指对象被选中。
	移动光标-可移动鼠标下的对象。
	拖线光标-按住鼠标左键对连线或 2D 图形进行拖拽调整
	赋值光标-当使用属性赋值工具设置对象属性，鼠标指向对象时，点击左键将把相关属性设置到对象中。

元器件选取

选取元器件，首先需要打开元件库浏览器，有以下两种方法：

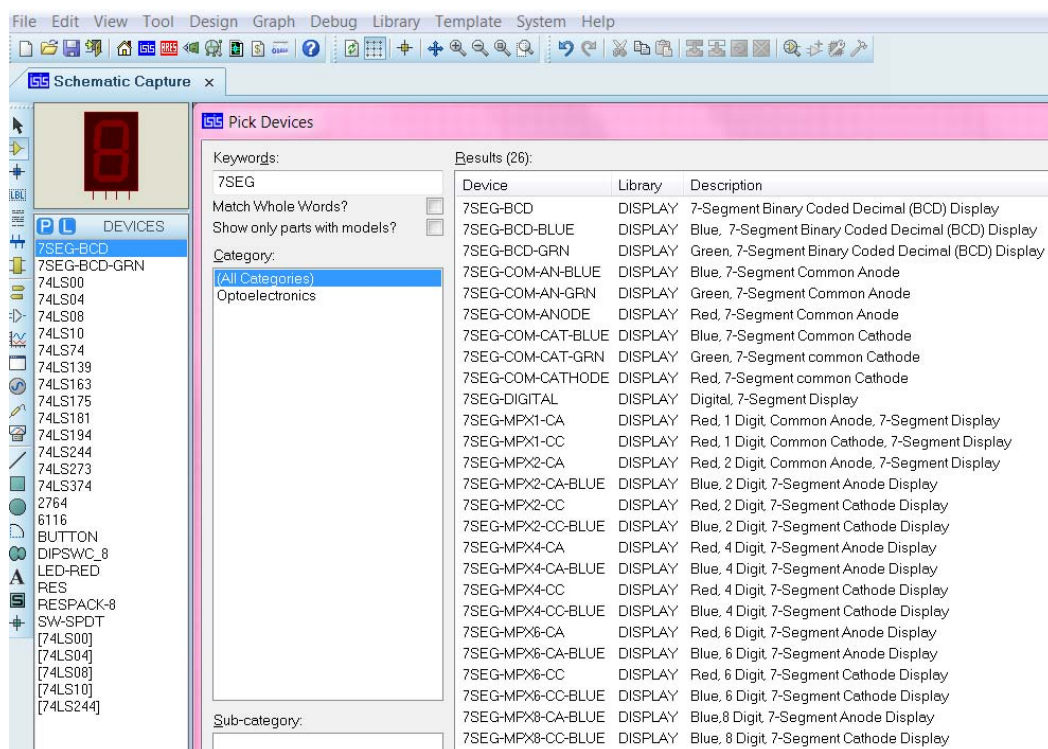
- 1) 如下左图所示，选择左侧模式栏里的第二个图标 **Component Mode**（红色圈起部分），然后按下对象选择器左上方的“P”按钮，或是通过快捷键 **P**，启动元件库浏览器。
- 2) 如下右图所示，在原理图编辑区域的任意位置点击鼠标右键，并且根据图示选择弹出菜单：**Place→Component→From Libraries**，启动元件库浏览器



元件库浏览器如下左图所示，有下列几种方法可以从库中找到所需要的元器件：


1) 已经知道所需要的元器件名，直接搜索。例如，需要找七段 BCD 编码数码管 7SEG-BCD，则将元器件名的开头部分“7SEG”输入到元件库浏览器的关键字栏中，浏览器就会根据输入的关键字提供备选的元件列表，在列表中选择“7SEG-BCD-GRN”元件

2) 如果记不住元器件的具体名称，可以根据器件的描述关键字来查找。例如在关键字一栏中输入“BCD display”（用空格隔关键词），库浏览器将把所有符合关键描述的元件放置到结果列表，同样可找到“7SEG-BCD-GRN”元器件。



3) 若忘记了具体元器件名称，需要根据电气特性或用途寻找元器件，可以直接从库浏览器的左侧的元件栏中进行选择。例如先在目录（Category）中寻找“Optoelectronics”，然后在子元件目录（Sub-category）选项中选择“7-Segment Displays”。这样列表中会有许多七段数码管可供选择。需要注意的是，此时生产厂商（Manufacturer）选项中必须选择（All Manufacturer），否则可能因为某个厂商没有相关元器件导致列表中无内容可选。


4) 如果需要浏览某一特定厂商的元器件，可以在选定了目录（Category）选项后，直接在生产厂商（Manufacturer）中查找厂商，然后在列表中再选择需要的元件。

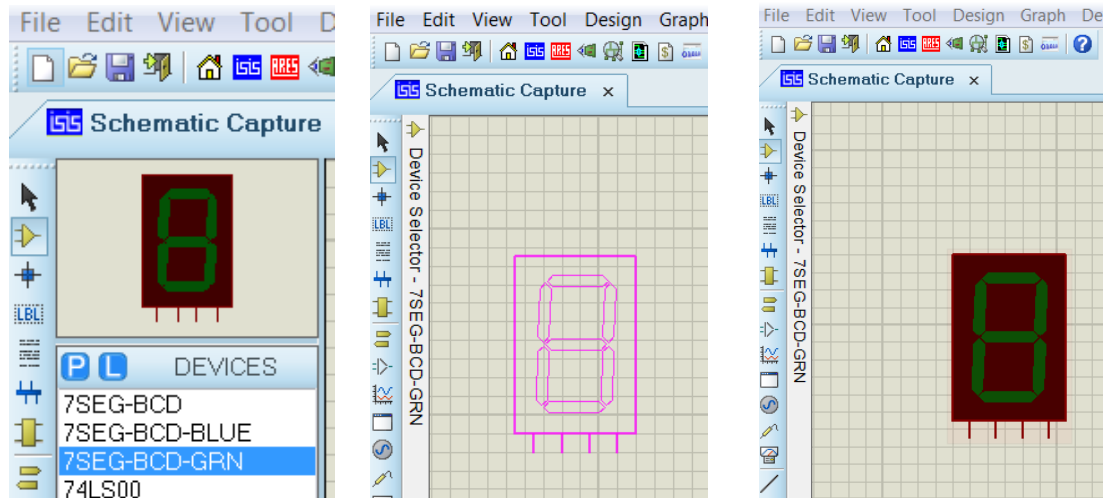
选好器件后，点击浏览器右下角的“OK”，就可以关闭元件库浏览器，回到编辑窗口。此时光标已经变成，即放置对象模式；同时，器件“7SEG-BCD-GRN”已经放入对象选择器“P”按钮下方的列表中，如下左图所示。

在编辑窗口中单击鼠标左键进入放置模式，将出现 74LS244 元件的虚影，如下中图所示。

移动鼠标到编辑窗口的放置位置，在再次点击左键，器件将放置到编辑窗口的对应位置上，如下右图所示。

如果需要选择已经选过的元器件（例如需要选择第二个数码管），必须先选择左侧模式栏里的 Component Mode 图标，然后直接点击对象选择器的列表中相应的元器件。此时，

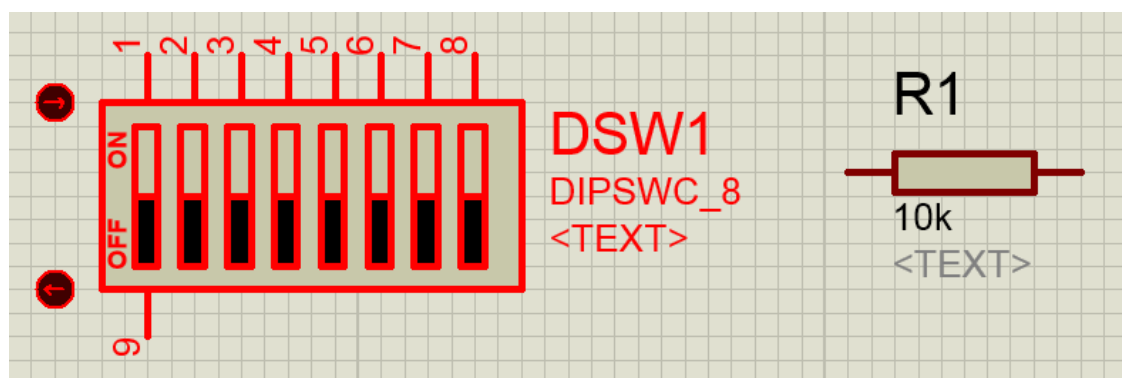
移动到编辑窗口上方时候，光标已经变成，即放置对象模式。只要在编辑窗口鼠标左键点击，每次点击都生成这个元器件，多次点击就生成多个相同的元器件。



元器件的标号、值和属性

所有放置到原理图中的元器件都有标签，包括唯一的标号（Part ID）、元器件值（Part Value）和属性（Part Properties）。例如下图所示，拨码开关右侧从上到下分别是标号“DSW1”、值“DIPSWC_8”和属性“<TEXT>”。元器件的标号是把元件放置到原理图上时系统自动分配的，元器件值一般显示的是元器件的类型名称，即上述选择元器件的时候在对象选择器里看到的元器件类型名称。对于电阻/电容/电感器件，元器件值显示的则是电阻值/电容值/电感值。例如下图所示的电阻，其标号是“R1”，元器件值是“10k”。而元器件属性一律显示“<TEXT>”，点击进去可以看到元器件的相关属性。

当进行元器件放置或连线时，如果连线的路径被元器件标签阻挡，可以将移动标签到更为合适的位置。首先鼠标左键点击元器件，选中元器件变红后（如下图所示），再次鼠标左键按住要移动的标签（此时标签将变成粉红色长方形），拖曳到合适的位置。注意的是，虽然元器件的标签可以放置在图纸的任意位置，但是为了区分元器件，标签最好不要离开所属元器件太远，一般只是微调到元器件的另一侧或放置到元器件里面。



除了移动标签外，还可以选择更改元器件的标号。选中元器件变红后（如上图所示），一种方法是鼠标左键双击元器件，将弹出标签编辑窗口，可以同时看到元器件标号和值的编

辑框；另一种方法是鼠标左键直接点击元器件的标号，可以弹出编辑对话框修改标号。对于电阻/电容/电感器件，还可以修改元器件值，例如把“10k”电阻改成“1k”。


注意：修改元器件标号的时候不能在原理图中出现两个相同的标号，否则会导致网络表错误。除了电阻/电容/电感器件，其他元器件一般不要改元器件值（因为其元器件值是元器件的类型名称，一般是不能变的），否则也会导致错误。

移动元器件

若需要在原理图中移动单个原件或整体电路，可以有以下几种方法来实现：

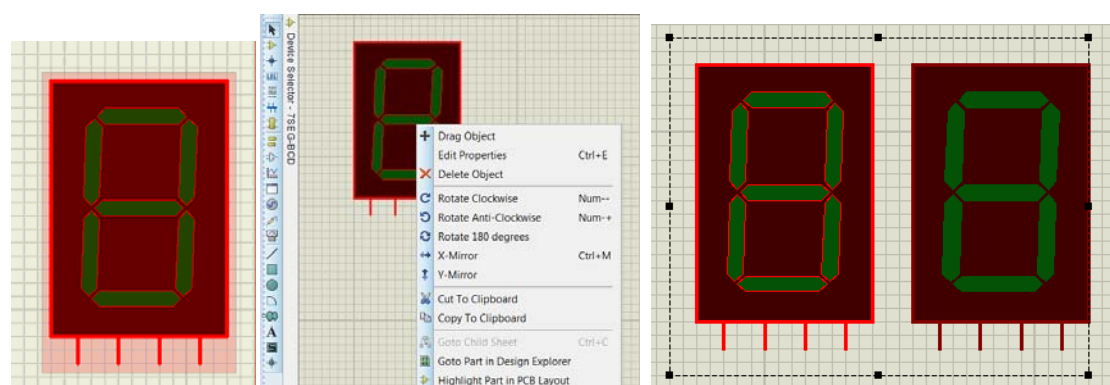
1) 先把鼠标放置在需要移动的元件上（元件会变成红色），如下左图所示。按住左键移动鼠标，元件会变成虚影跟着鼠标移动到新的位置。释放鼠标左键，将对象放置到新位置。这个技巧只能移动单个元件，而且对某些元件（例如拨码开关 DIPSWC 或 SPDT）不适用。

2) 先把鼠标放置在需要移动的元件上（元件会变成红色），右键点击元件弹出右键菜单。在菜单上选择点击第一个选项“Drag Obejct”，元件会变成虚影跟着鼠标移动到新的位置。释放鼠标左键，将对象放置到新位置。这个技巧适用于任何元件，而且元件的右键菜单里面还可以选择点击顺时针/逆时针 90° 或 180° 旋转（Rotate）元件、上下或左右镜像（Mirror）元件等不同的操作，调整元件的朝向，如下中图所示。

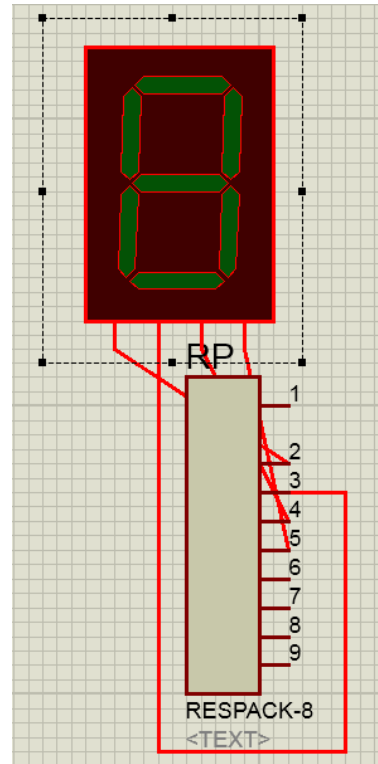
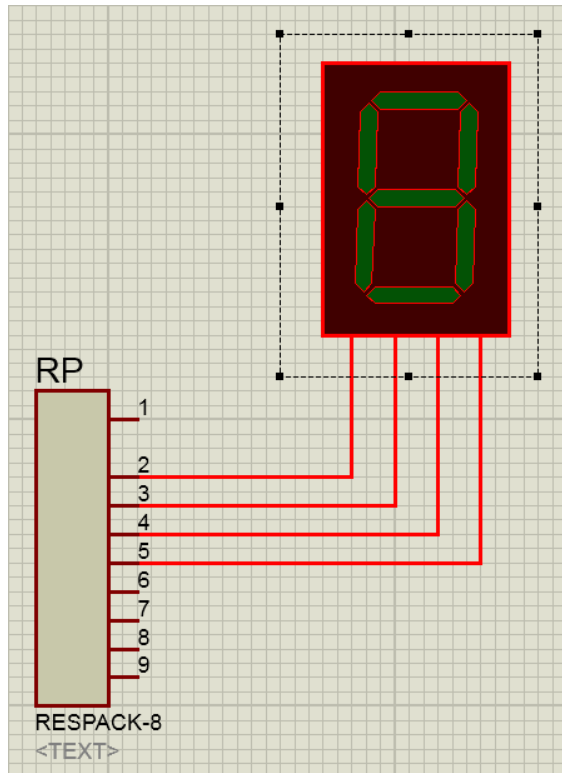
3) 选择左侧模式栏里的第一个图标 Selection Mode，在编辑窗口中用鼠标左键拖曳虚线方框选中一组对象（选中的对象会变红），如右下图所示。在虚线框内，鼠标变成移动光标模式。按住鼠标左键移动鼠标，整个虚线框会跟着鼠标移动到新的位置。这个技巧一般用来选中多个对象组成的电路。值得注意的是，必须把所需的元件完全圈在虚线框内，才能移动元件。在右下图，左边的数码管完全在虚线框内，变红表示已被选中；而右边的数码管碰到了虚线框的边缘，没有变红，即没被选中，虚线框移动的时候不会改变位置。

在使用方法 3 移动对象时，可以用虚线框圈住对象后，通过小键盘的“+”“-”按键来对元件进行旋转，再进行放置。

注意：完成移动后，必须通过在原理图编辑窗口的空白位置点击鼠标左键来清除选择！



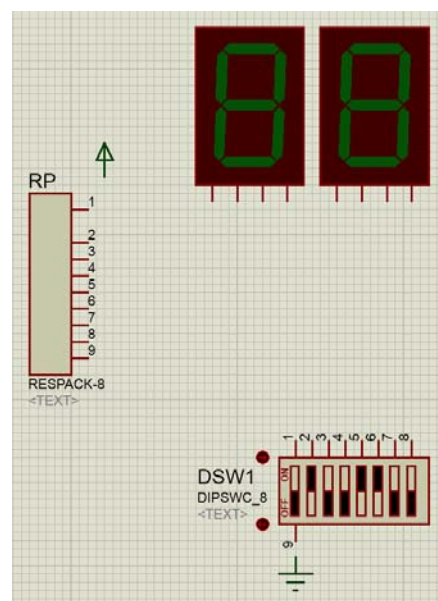
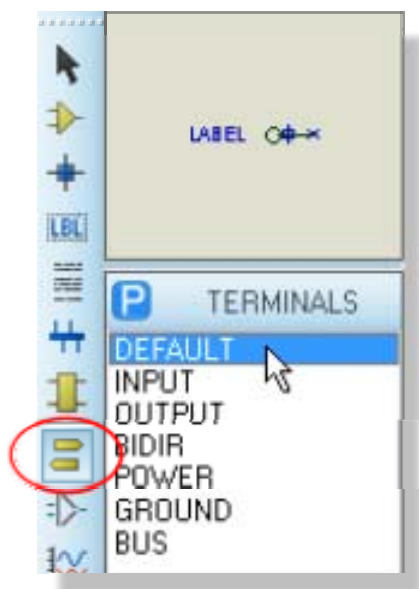
值得注意的是，在移动元器件或电路的时候，最好不要单独移动已经连线的元件，否则会造成移动对象连接的走线拖动混乱。如下左图所示，使用上述方法 3 移动数码管，数码管跟排阻 RP 已经连线。数码管向左移动后，如下右图所示，数码管与排阻的连线全部乱了。避免该问题的方法是把所有连线的对象一起移动，或是删除移动对象的所有连线，把对象放置到新位置后，再连线。一般情况下，建议使用方法 3 框选的方式来选择和移动对象。



连接电源和地

最后，本实验选择了一个排阻 RP、一个八位拨码开关 DIPSWC 和两个七段 BCD 数码管 7SEG-BCD-GRN。除了元器件外，一个真正意义上的电路系统必须有电源和地。

电源（POWER）和地（GND）的选择在模式栏第八个图标 Terminals Mode，如左下图所示。在对象选择器（此时 P 按钮旁边的标注已经改成 TERMINALS）的列表里分别选择 POWER 和 GROUND，鼠标移动到编辑窗口左键点击放置，整体电路布局如右下图所示：



连线

放置好元器件和电源、地后，即可开始进行连线。在原理图编辑窗口的左侧模式栏中没有“连线模式”，也就是说，连线可以在任何时刻放置或编辑。这样减少了鼠标的移动和模式的切换，提高了开发效率。连线的基本步骤如下（步骤 1-3 分别对应下图左、中、右）：

- 1) 将鼠标放置在起始元器件的管脚上，光标自动变成绿色铅笔。
- 2) 点击鼠标左键后，绿色导线出现并且跟随鼠标移动，在移动的过程中光标是白色铅笔。若导线转弯，则需要在转弯处鼠标左键点击，然后光标再移动就不会影响转弯前放置的导线。
- 3) 移动鼠到目标元器件的管脚处，光标会再次变成绿色铅笔，鼠标左键再次点击，完成画线。

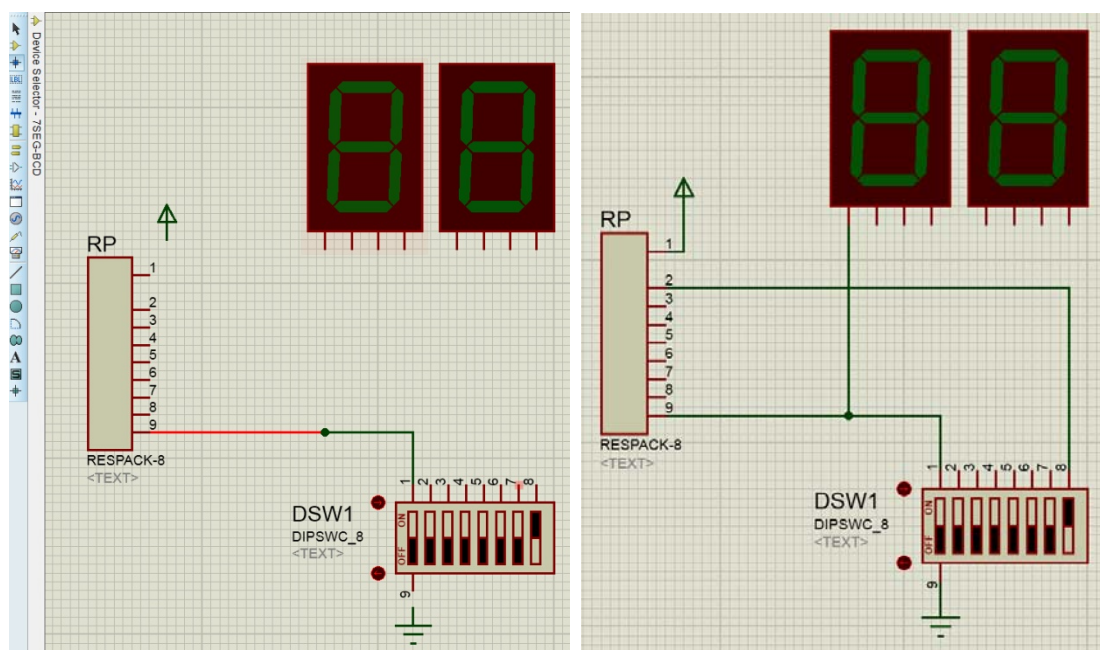
如果需要在放置导线后再进行修改（移动或删除），可以在导线上鼠标左键点击，导线变成红色。直接按得 Del 键就可以删除。或者把鼠标放置在变红的导线上，等光标变成左右移动或上下移动图标后，鼠标左键按住拖动，就可以相应拉动导线。

注意：不可以从导线的任意位置开始连线，而只能从元器件的管脚开始连线，连接到另一个元器件的管脚或另一根导线。

如果需要从导线的某个位置开始连线，则必须首先在编辑窗口左侧的模式栏中选择第三个图标 Junction Dot Mode，然后在导线的开始位置鼠标左键点击，放置节点（如下左图所示）。把鼠标放置在节点上，光标会自动变成绿色铅笔，跟放置在元器件管脚的效果是一致的。同样，在连线过程中，若是经过已经存在的导线，光标会在两条导线的交叉处变成绿色铅笔。此时若鼠标左键点击，系统会自动放置节点，然后结束连线操作。

节点会把原来的一根导线切分成两根。此时，点击导线的任意位置，只有节点到元器件管脚的那段导线变红，另一段导线不变，如左下图所示。所以，修改导线也只能改动变红的那一段导线。要删除节点，可以采用上述“移动元器件”的方法 3，虚线框套住节点删除。

注意：两根导线交叉不一定意味着电气连接。必须在交叉处有节点，才是电气连接；倘若没有节点，则互不影响。如右下图所示，数码管的管脚连接的导线与下方拨码开关的管脚 1 连接的导线有电气连接，但跟上方拨码开关的管脚 8 相联的导线没有电气连接。



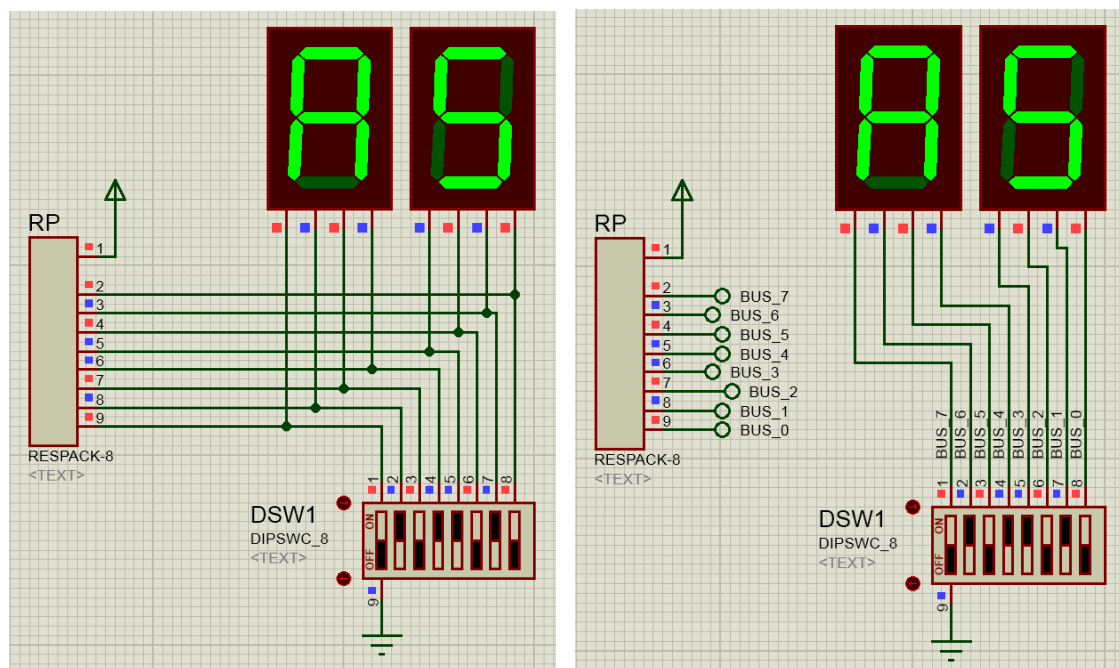
端子

掌握上述连线技巧后，就可以把电路图中的所有元件都用导线连接起来，连接好的电路如左下图所示。启动原理图编辑窗口下方的“仿真”按钮后，可以看到元器件的管脚处用红色/蓝色方块显示出来管脚处的高/低电平。倘若是黄色方块，则表示电平冲突；灰色方块，表示高阻。PROTEUS 软件提供了“仿真”、“暂停”和“结束”等仿真功能按键。如果电路没有问题，则“结束”按钮右侧的仿真消息框应该是全绿色。倘若有黄色消息，则表示有逻辑冲突（例如在同一条导线上存在高/低电平冲突等等）。若有红色消息，表示电路有严重错误（例如元器件同名等等）。

注意：在仿真状态下不可以添加、移动或删除元器件，必须结束仿真才能改变电路布局。

有时候，电路需要连接的元器件太多，导线太复杂；或者有些元器件与需要连接的电路之间已经放置了其他电路，无法直接导线互连。此时，可以采用端子连接的方式，通过“飞线”连接元器件：两个相同的标号可以把原理图中不同位置的元器件管脚、子电路或导线电气连接起来，使得导线大大减少，简化电路的复杂度。

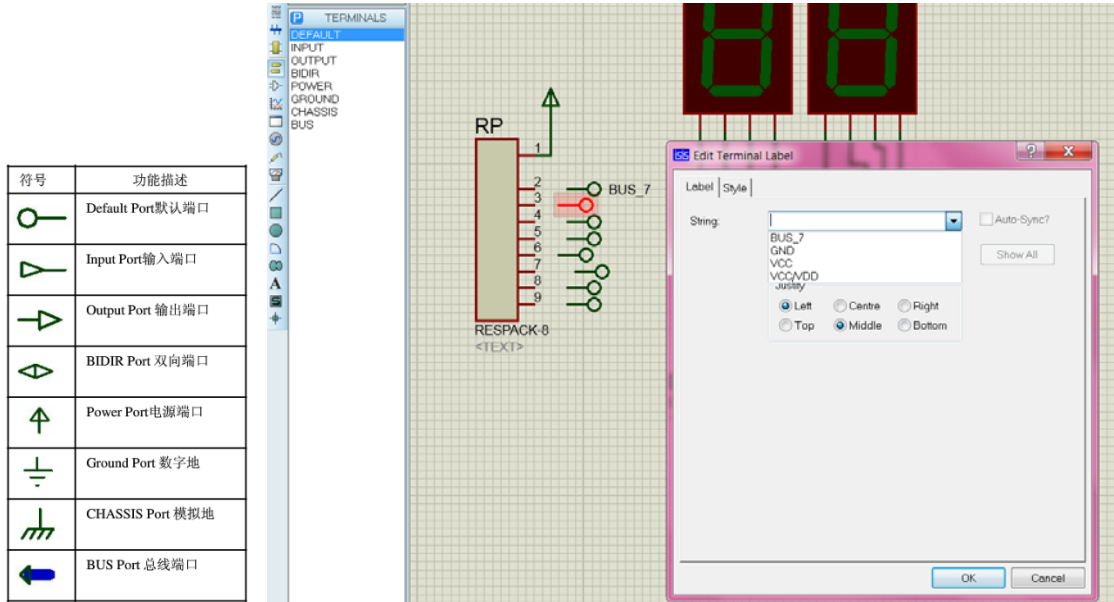
如右下图所示，使用端子后，数码管和拨码开关相连的导线大大简化了。排阻 RP 管脚 2~9 上的端子与这八根导线有相同的电气标号：BUS_0~BUS_7。因此，排阻 RP 无论放置到原理图何处，其管脚都跟同名的导线有电气连接。



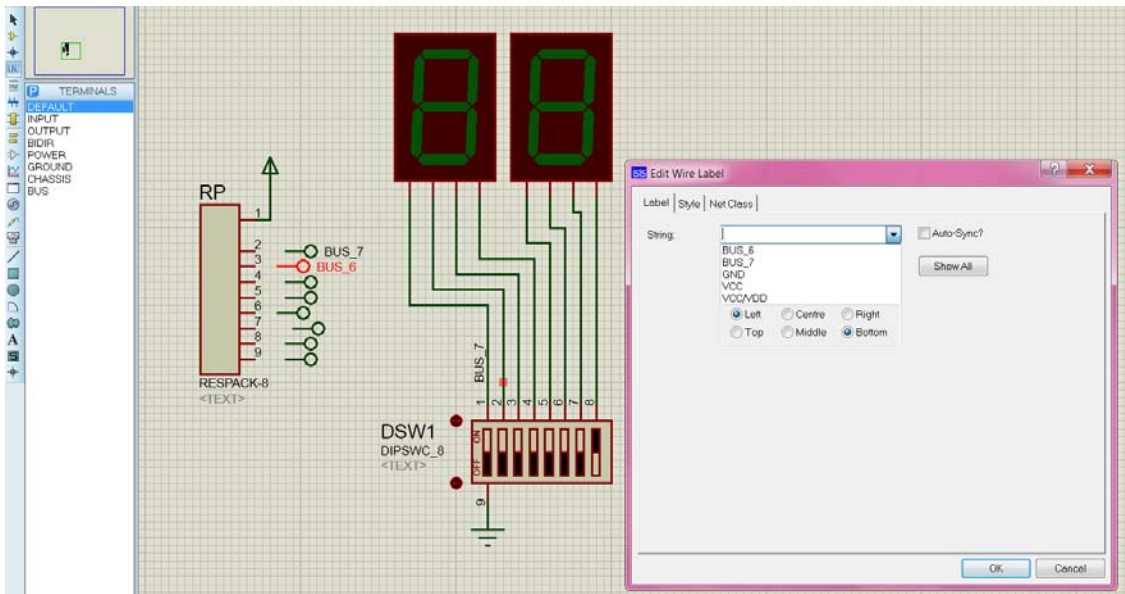
端子的选择跟电源（POWER）和地（GND）一样，都是在模式栏第八个图标 Terminals Mode，如下图所示。在对象选择器（此时 P 按钮旁边的标注已经改成 TERMINALS）将所有可用的端子都显示出来，如左下图所示。元器件管脚/子电路连接的终端可以根据信号的方向选择输入（INPUT）、输出（OUTPUT）或双向（BIDIR）端子，若是连接电源、地或阻/容/感等被动元件的管脚，则可以选择默认（DEFAULT）端子。

本实验是在排阻的八个管脚上连接端子，所以选择 DEFAULT，鼠标移动到编辑窗口左键点击，放置 8 个终端，如右下图所示。跟元器件标号的修改一样，可以鼠标左键点击选中端

子（端子变成红色），再次点击打开端子编辑窗口（Edit Terminal Label）命名。端子的命名非常重要，其标号指明了其连接到的电路网络。通常来说，端子可以任意命名，但有意义的命名会让电路更加容易看懂。右下图中，第一个端子已被命名为“BUS_7”，则当选中第二个端子弹出编辑窗口的时候，在名称（String）的下拉菜单里，类似“BUS_7”等端子的标号已经在列表上。所以，第二个端子可以直接在下拉菜单里面选择“BUS_7”，再改成“BUS_6”即可。不需要重新输入“BUS_6”。命名完成后，点击“OK”关闭端子编辑窗口。



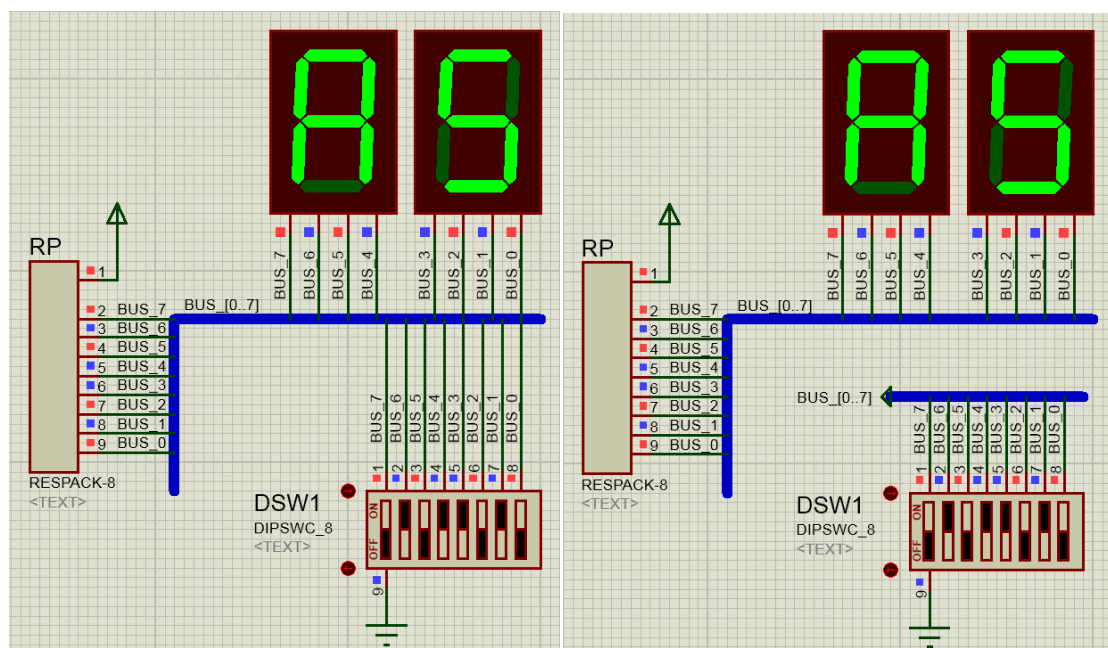
最后，需要把上述端子连接到数码管和拨码开关互连的导线上，必须给这八根导线也赋予同名标号。首先，在原理图编辑窗口的左侧模式栏中选择第四个图标 Wire Label Mode，然后在导线的任意位置（勿靠近转弯处）鼠标左键点击，立刻弹出导线编辑窗口（Edit Wire Label）。如下图所示，拨码开关的管脚 2 所连的导线正在命名，编辑窗口的 String 输入栏的下拉菜单里，“BUS_7”、“BUS_6”等端子的标号已经在列表上，可以不用输入，直接选择相应的名称，点击“OK”完成命名。命名后的导线可以参见拨码开关的管脚 1 相连的导线。导线的标号可以鼠标左键拖动在原理图里移动，但一般必须紧贴在所标示的导线上！



注意：选择 **Wire Label Mode** 为导线命名的时候一定要正确选择所属的导线，切记不要选错。倘若把两个 **Label** 赋予了同一根导线，则这两个 **Label** 同名的所有端子或导线就全部电气连接在一起，会引起电路的混乱。

总线

除了上述“连线”和“端子”模式外，还可以采用“总线”模式的电路布局。总线是多个部件之间进行数据传送的公共通路，不同的元器件可以挂在同一条总线上，减少了端子和导线的使用，简化了电路布局。本实验的单总线电路如左下图所示，拨码开关、排阻和数码管都挂在同一总线 BUS 上。而右下图所示的则是另一种总线“飞线”的电路布局：图中两条总线的标号相同，都是 BUS_[0..7]。因此，拨码开关所在的总线无论放置到原理图何处，都与同名的总线（连接数码管和排阻 RP）电气连接在一起。



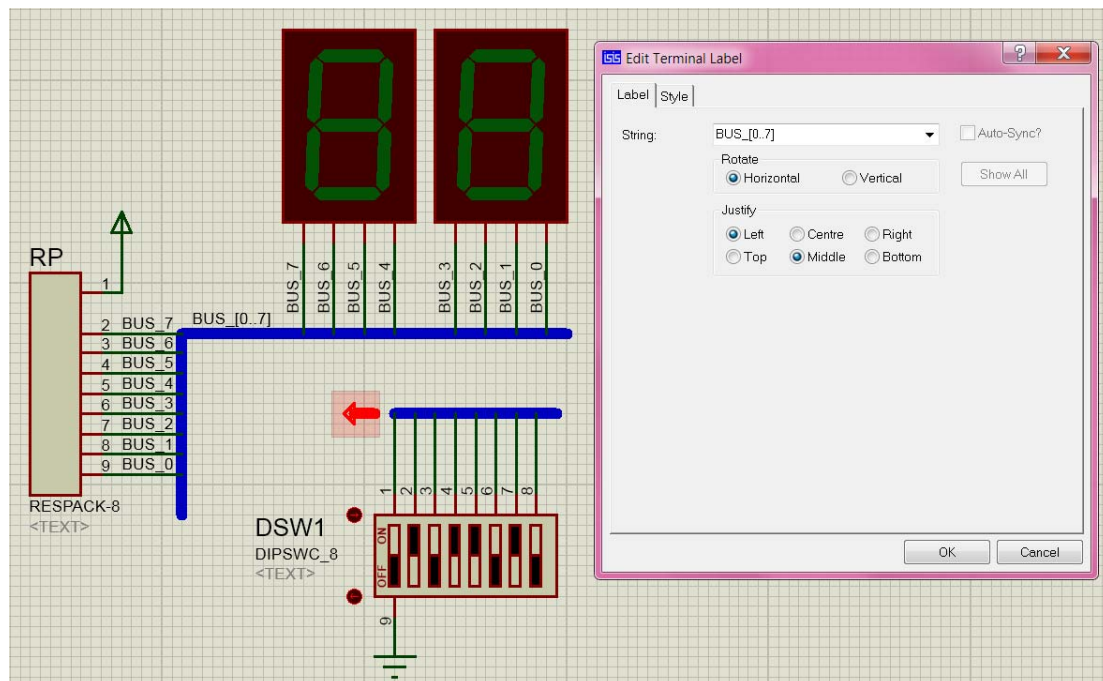
绘制总线必须首先在编辑窗口左侧的模式栏中选择第六个图标 Buses Mode，然后鼠标移动到原理图的编辑窗口内，光标会自动变成白色铅笔。在总线的开始位置鼠标左键点击，总线（蓝色粗实线）出现并且跟随鼠标移动。在移动的过程中，若总线需要转弯，则必须在转弯处鼠标左键点击，然后光标再移动就不会影响转弯前已放置的总线。在总线结束的位置，鼠标静止状态下左键双击，则结束总线绘制状态，释放鼠标。

同样地，总线需要赋予标号，其操作与导线命名过程完全相同：在编辑窗口左侧的模式栏中选择第四个图标 Wire Label Mode，然后在总线的任意位置（最好不要靠近转弯处）鼠标左键点击，立刻弹出编辑窗口（Edit Wire Label）。在 String 栏输入 “BUS_[0..7]”，点击“OK”完成命名。总线标号的[]表示总线所包含导线的序列，例如 BUS_[0..7]表示该总线包含了以下8根导线：BUS_0~BUS_7，同时表示其为8位总线。总线绘制后，必须把所有挂在总线上的元件的管脚都用导线连接到总线上。当绘制导线的时候，鼠标碰到总线的同时，光标会自动变成绿色铅笔。此时鼠标左键点击，就把导线连到了总线上。然后，所有的导线还必须赋予标号，且该标号必须在所连的总线的导线序列内，否则会报错。


小技巧：先赋予总线标号，再命名连接总线的导线。这样导线命名的时候，编辑窗口 String 输入栏的下拉菜单里就会出现总线所包含的所有导线的序号，直接选择即可。

总线“飞线”的模式需要选择编辑窗口左侧模式栏内的第八个图标 Terminals Mode，然后选择总线（BUS）端子，鼠标移动到编辑窗口左键点击放置。如下图所示，跟元器件标号的修改一样，鼠标左键点击选中端子（端子变成红色），再次点击打开端子编辑窗口（Edit Terminal Label），在 String 栏输入“BUS_[0..7]”。命名完成后，点击“OK”关闭编辑窗口。然后再绘制总线把命名后的总线端子和右侧的总线连接在一起。

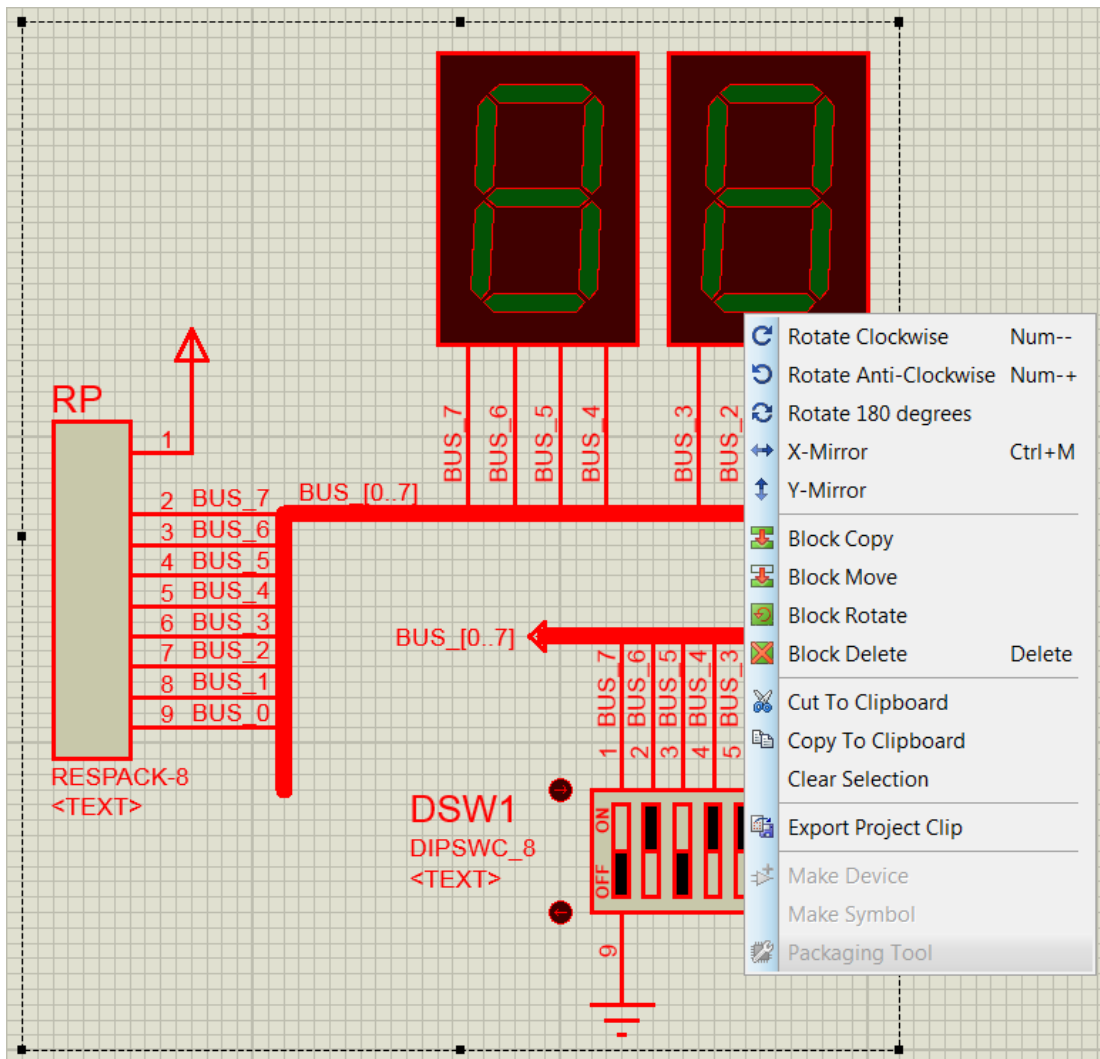
注意：导线/总线的标号需要修改或删除的时候，首先鼠标左键点击选中，然后必须再次点击弹出编辑窗口进行修改或清空。倘若选中后直接按 Del 键，将会把标号和所属的导线或总线一起删除。



电路的复制和粘帖

在电路绘制中，有时候需要重复利用某一电路，甚至在不同的工程之间互相拷贝电路。此时，可以选择左侧模式栏里的第一个图标 Selection Mode，在编辑窗口中用鼠标左键拖曳虚线方框选中所需复制的电路（选中的电路会变红）。在虚线框内，鼠标变成移动光标模式 。点击鼠标右键，在弹出框内选择“Copy To Clipboard”，如下图所示。然后，在编辑窗口的空白处点击鼠标左键，释放选择对象。在需要粘帖的位置（可以在同一工程下，甚至可以打开多个工程，实现跨工程的拷贝），点击鼠标右键，在弹出框内选择“Paste From Clipboard”，就会出现复制电路的虚影。此时，鼠标左键点击即可放置电路，放置后在编辑窗口的空白处点击鼠标左键，释放复制粘帖操作。

电路复制粘帖的过程中，系统会自动命名新出现的元器件，但是端子、导线和总线的标号需要手动修改，否则会出错。例如本电路中，需要把总线标号改为“BUS_[0..15]”，即把总线扩展为 16 位总线，同时把复制出来的电路上的同名标号改为 BUS_8~BUS_15。



最终得到的一个 16 位的 IO（输入输出）电路如下图所示：输入设备为两个拨码开关 DSW1 和 DSW2，输出设备为两对数码管，输入和输出设备共用一条 16 位总线 BUS_[0..15]。

