



普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材

模拟电子电路 分析与实践

MONI DIANZI DIANLU FENXI YU SHIJIAN

主 编 / 王泽芳

副主编 / 景兴红

主 审 / 刘解生



西南交通大学出版社



普通高等教育“十三五”应用型人才

模拟电子电路 分析与实践

MONI DIANZI DIANLU FENXI YU SHIJIAN

主 编 / 王泽芳
副主编 / 范景红
主 审 / 刘解生
参 编 / 宋书苗 周树林

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子电路分析与实践 / 王泽芳主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2015.2
普通高等教育“十三五”应用型人才培
养规划教材
ISBN 978-7-5643-3741-4

I. ①模… II. ①王… III. ①模拟电路—高等学校—
教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 028160 号

普通高等教育“十三五”应用型人才培
养规划教材
模拟电子电路分析与实践
主 编 王泽芳

责 任 编 辑 李芳芳
助 理 编 辑 赵雄亮
特 邀 编 辑 黄庆斌
封 面 设 计 墨创文化

出 版 发 行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发 行 部 电 话 028-87600564 028-87600533
邮 政 编 码 610031
网 址 <http://www.xnjdcbs.com>
印 刷 成都中铁二局永经堂印务有限责任公司
成 品 尺 寸 185 mm×260 mm
印 张 10.25
字 数 255 千
版 次 2015 年 2 月第 1 版
印 次 2015 年 2 月第 1 次
书 号 ISBN 978-7-5643-3741-4
定 价 29.50 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

本书编者根据近年应用型人才培养理念,在多年教学改革与实践的基础上,并结合企业岗位能力需求、学生学情分析等情况,专门为电类专业编写的模拟电子技术教材。该书充分体现应用型人才培养以理论够用为度,强化实践操作的特点,注重培养应用型人才分析与解决问题能力。

与传统模拟电子技术教材相比,本书重构了知识体系,以实际工作任务为导向,教学过程倡导“做中学、学中做”,充分贯彻应用型人才培养“以能力培养为根本”的指导思想,具体特点如下:

(1) 知识体系注重实用性,项目选取注重科学性、趣味性。删除了应用较少,理论推导过于复杂的知识点,确保“突出应用”为主的知识点体系,并将所有知识体系以“音频功放电路的制作”为主线,用7个教学情境(子项目)贯穿其中。

(2) 任务导向教学,融入虚拟实验平台。所有教学情境均采用项目任务提出、分步任务实施、知识拓展等教学环节。教学过程融入虚拟实验平台、实验验证及项目实施。其中虚拟教学平台让教学更为直观且有利于学生课后学习,充分体现了虚拟实验与实际动手相结合、课上与课下相结合的思想。

全书共分为7个子项目。项目1为简单模拟电子电路制作,可引导学生对该课程产生兴趣,培养学生基本电子技能;项目2为线性直流稳压电源的制作,主要教会学生如何应用二极管和三端集成稳压器;项目3为单管音频放大电路的制作,让学生具备常见三极管放大电路的分析和应用能力;项目4为集成音频放大电路的制作,主要训练学生对集成运放的应用能力;项目5为实用低频功率放大电路的制作,训练学生对集成功率放大器的应用能力;项目6为正弦波信号发生器的制作,主要训练学生对信号发生电路的实践应用能力;项目7为模拟电子综合应用电路的制作,是一个综合型项目,主要锻炼学生对模拟电子电路的调试、检修等综合应用能力。

本书建议学时为64学时。除项目1外,各项目均有参考学时安排,各学校可根据实际情况适当调整学时分配。

全书由王泽芳主编并统稿,景兴红任副主编,宋苗、周树林参编。编写分工为:景兴红编写了项目1、5,宋苗编写了项目4、6,周树林编写了项目2,王泽芳负责组织编写项目3、7。全书由重庆科技学院刘解生教授主审。本书在编写过程中,得到了重庆科技学院、重庆工程学院相关老师的支持和帮助,还包括其他很多高校教师也给予了很多中肯意见,在此一并表示感谢。

限于编者水平有限,书中难免有错漏或不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2014年10月

目 录

项目 1 简单模拟电子电路的制作	1
1.1 项目任务提出	1
1.2 任务一 初识 Multisim 10 软件	1
1.3 任务二 电子电路的整体装配	16
1.4 知识拓展 电路 EDA 技术简介	27
项目 2 线性直流稳压电源的制作	29
2.1 项目任务提出	29
2.2 任务一 直流稳压电源电路分析及仿真	30
2.3 任务二 直流稳压电源的制作	41
2.4 项目总结与自我评价	46
2.5 知识拓展	47
项目 3 单管音频放大电路的制作	53
3.1 项目任务提出	53
3.2 任务一 三极管共射极放大电路分析及仿真	54
3.3 任务二 单管音频放大电路的制作	68
3.4 项目总结与自我评价	71
3.5 知识拓展	73
项目 4 集成音频放大电路的制作	83
4.1 项目任务提出	83
4.2 任务一 多级放大电路介绍	84
4.3 任务二 集成运放应用电路仿真分析	90
4.4 任务三 集成音频放大电路的制作	101
4.5 项目总结与自我评价	106
4.6 知识拓展	108
项目 5 实用低频功率放大电路的制作	111
5.1 项目任务提出	111
5.2 任务一 常见的功率放大电路仿真分析	112
5.3 任务二 TDA2030 BTL 功率放大电路的制作	119

5.4 项目总结与自我评价	124
5.5 知识拓展	126
项目 6 正弦波信号发生器的制作	129
6.1 项目任务提出	129
6.2 任务一 正弦波信号发生器电路组成	130
6.3 任务二 正弦波发生器的制作	135
6.4 项目总结与自我评价	137
6.5 知识拓展 其他常见振荡电路	139
项目 7 模拟电子综合应用电路的制作	144
7.1 项目任务提出	144
7.2 任务一 驻极体话筒放大电路的制作	147
7.3 任务二 音频功放电路的制作	151
7.4 项目总结与自我评价	154
7.5 知识拓展	156
参考文献	157

项目1

简单模拟电子电路的制作

1.1 项目任务提出

模拟电子电路主要是对模拟信号进行处理的电路。它以半导体二极管、半导体三极管和场效应管为关键电子器件,主要包括功率放大电路、运算放大电路、反馈放大电路、信号运算与处理电路、信号产生电路、电源稳压电路等。

本项目主要介绍了贯穿本课程一个重要的辅助学习仿真软件——Multisim,并结合电子小夜灯的制作,让学生体会模拟电子电路的应用以提高学习该课程的兴趣,具备简单电子电路的仿真、装配及调试过程中的基本技能以为后续项目实施打下基础。

1.2 任务一 初识 Multisim 10 软件

1.2.1 Multisim 10 介绍

Multisim 10 是 NI 公司推出 Multisim 2001 之后的 Multisim 最新版本。Multisim 10 提供了全面集成化的设计环境,完成从原理图设计输入、电路仿真分析到电路功能测试等工作。当改变电路连接或改变元件参数,对电路进行仿真时,可以清楚地观察到各种变化对电路性能的影响。

1. Multisim 10 基本操作

(1) 基本界面及设置

使用 Multisim 10 前,应对 Multisim 10 基本界面进行设置。基本界面设置是通过主菜单中“选项”(Options)的下拉菜单进行的,如图 1.1 所示。

① 单击主菜单中的“选项”命令,点击第一项“Global Preferences”,打开设置对话框如图 1.2 所示,默认打开的“parts”选项下有两栏内容:“放置元件方式”栏,建议选中“连续放置元件”;“符号标准”栏,建议选中“DIN”,即选取元件符号为欧洲标准模式。以上两项设置完成后按“确定”按钮退出。

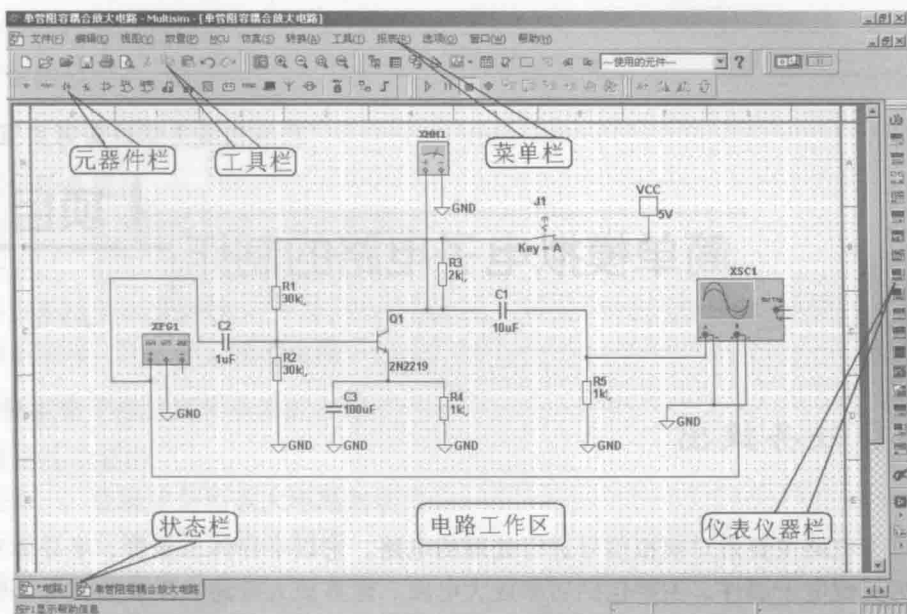


图 1.1 Multisim 10 仿真软件用户界面

② 单击主菜单中的“选项”命令，选中下拉菜单中的第二项“Sheet Properties”，对话框默认打开的是“电路”选项页，它的“网络名字”栏中默认的选项为“全显示”，建议选择“全隐藏”，然后点击“确定”按钮退出。

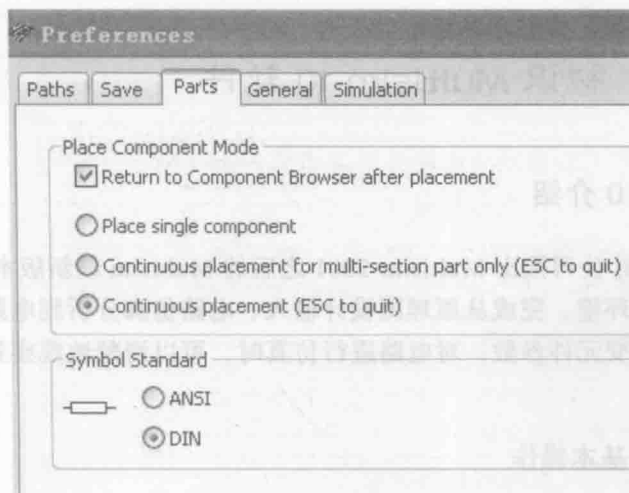


图 1.2 界面基本设置

(2) 文件基本操作

与 Windows 常用的文件操作一样，Multisim 10 中也有：New——新建文件，Open——打开文件，Save——保存文件，Save As——另存文件，Print——打印文件，Print Setup——打印设置和 Exit——退出等相关的文件操作。这些操作可以在菜单栏“文件”（File）子菜单下选择命令完成，也可以应用快捷键或工具栏的图标完成。

(3) 元器件基本操作

常用的元器件编辑功能有：90 Clockwise——顺时针旋转 90°，90 Counter CW——逆时针旋转 90°，Flip Horizontal——水平翻转，Flip Vertical——垂直翻转，Component Properties——元件属性等，如图 1.3 所示。这些操作可以在菜单栏“编辑”(Edit)子菜单下选择命令，也可以应用快捷键进行操作。



图 1.3 元器件编辑功能展示

(4) 文本基本编辑

对文字注释方式有两种：直接在电路工作区输入文字或者在文本描述框输入文字。两种操作方式有所不同：

① 电路工作区输入文字。

单击 Place/Text 命令或使用 Ctrl+T 快捷操作，然后用鼠标单击需要输入文字的位置，输入需要的文字，用鼠标指向文字块，单击鼠标右键，在弹出的菜单中选择 Color 命令，选择需要的颜色，双击文字块，可以随时修改输入的文字。

② 文本描述框输入文字。

利用文本描述框输入文字不占用电路窗口，可以对电路的功能、实用说明等进行详细的说明，可以根据需要修改文字的大小和字体。单击 View/ Circuit Description Box 命令或使用快捷操作 Ctrl+D，打开电路文本描述框，在其中输入需要说明的文字，可以保存和打印输入的文本，如图 1.4 所示。

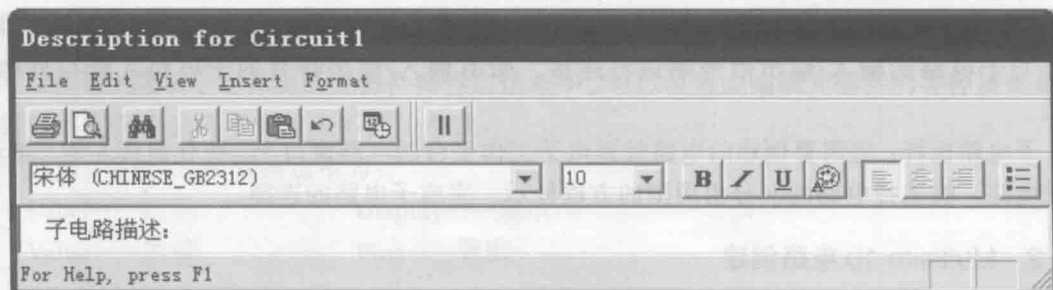


图 1.4 文本描述框输入文字

对图纸标题的编辑方式：单击 Place/Title Block 命令，在打开对话框的查找范围处指向 Multisim/Title Blocks 目录，在该目录下选择一个*.tb7 图纸标题栏文件，放在电路工作区，用鼠标指向文字块，单击鼠标右键，在弹出的菜单中选择 Properties 命令，如图 1.5 所示。

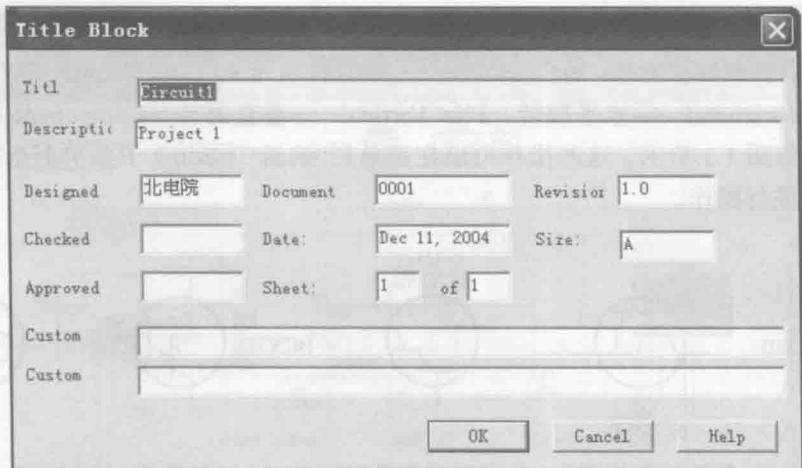


图 1.5 图纸标题栏编辑

(5) 子电路创建

子电路是用户自己建立的一种单元电路，将子电路存放在用户器件库中，可以反复调用并使用子电路。利用子电路可使复杂系统的设计模块化、层次化，可增加设计电路的可读性、提高设计效率、缩短设计周期。

创建子电路的工作需要四个步骤：选择、创建、调用、修改。

① 子电路创建：单击 Place/ Replace by Subcircuit 命令，在屏幕出现 Subcircuit Name 的对话框中输入子电路名称 sub1，单击 OK，选择电路复制到用户器件库，同时给出子电路图标，完成子电路的创建。

② 子电路调用：单击 Place/New Subcircuit 命令或使用 Ctrl+B 快捷操作，输入已创建的子电路名称 sub1，即可使用该子电路。

③ 子电路修改：双击子电路模块，在出现的对话框中单击 Edit Subcircuit 命令，屏幕显示子电路的电路图，直接修改该电路图。

子电路的输入/输出：为了能对子电路进行外部连接，需要对子电路添加输入/输出。单击 Place/HB/SB Connector 命令或使用 Ctrl+I 快捷操作，屏幕上出现输入/输出符号，将其与子电路的输入/输出信号端进行连接。带有输入/输出符号的子电路才能与外电路连接。

子电路选择：把需要创建的电路放到电子工作平台的电路窗口上，按住鼠标左键，拖动，选定电路。被选择电路的部分由周围的方框标示，完成子电路的选择。

2. Multisim 10 电路创建

Multisim 电路仿真的过程包括 6 个步骤：建立电路文件；元器件库中调用所需的元器件；电路连接及导线调整；为电路增加文本；连接仿真仪器；进行电路仿真。

(1) 元器件操作

① 选择元器件。

在元器件栏中单击要选择的元器件库图标，打开该元器件库，如图 1.6 所示。常用

元器件库有 13 个：信号源库、基本元件库、二极管库、晶体管库、模拟器件库、TTL 数字集成电路库、CMOS 数字集成电路库、其他数字器件库、混合器件库、指示器件库、其他器件库、射频器件库、机电器件库。



图 1.6 元器件库

② 选中元器件：在打开的元器件库中，用鼠标点击元器件，可选中该元器件。

③ 元器件操作：在原理图编辑窗中，选中元器件，单击鼠标右键，在菜单中出现如图 1.7 所示的操作命令。

Cut	Ctrl+X	Cut 剪切
Copy	Ctrl+C	Copy 复制
Flip Horizontal	Alt+X	Flip Horizontal 选中元器件的水平翻转
Flip Vertical	Alt+Y	Flip Vertical 选中元器件的垂直翻转
90 Clockwise	Ctrl+R	90 Clockwise 选中元器件的顺时针旋转 90°
90 CounterCW	Shift+Ctrl+R	90 CounterCW 选中元器件的逆时针旋转 90°
Color...		Color 设置器件颜色
Font...		Edit Symbol 设置器件参数
Edit Symbol		Help 帮助信息
Help	F1	

图 1.7 元器件操作

④ 元器件特性参数。

双击该元器件，在弹出的元器件特性对话框中，可以设置或编辑元器件的各种特性参数。元器件不同每个选项下将对应不同的参数。

例如：NPN 三极管的选项为：

Label——标识 Display——显示

Value——数值 Pins——管脚

(2) Multisim 10 操作界面

Multisim 10 的 12 个菜单栏包括了该软件的所有操作命令，从左至右为：File（文件）、Edit（编辑）、View（视图）、Place（放置）、MCU、Simulate（仿真）、Transfer（文件转换）、Tools（工具）、Reports（报表）、Options（选项）、Window（窗口）和 Help（帮助），如图 1.8 所示。

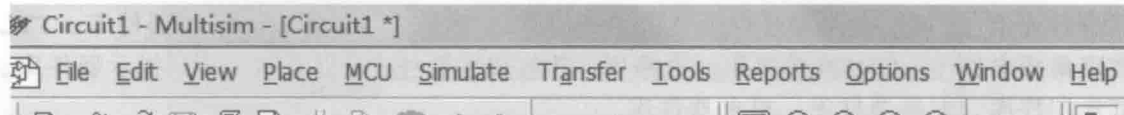


图 1.8 Multisim 10 菜单栏

1.2.2 叠加定理仿真验证

1. 叠加定理原理图

叠加定理实验电路如图 1.9 所示, 按图中电路绘制 Multisim 仿真电路图, 如图 1.10 所示。

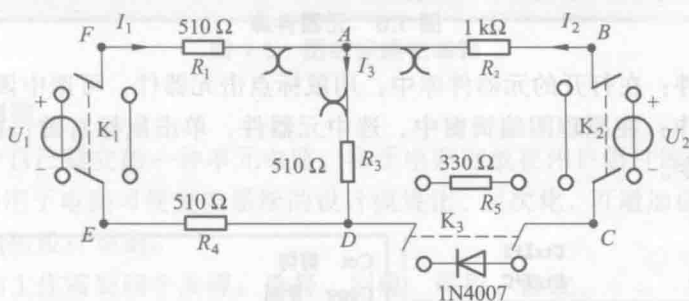


图 1.9 叠加原理电路原理图

① 将两路稳压源的输出分别调节为 6 V 和 12 V, 接入 $U_2 = 6\text{ V}$ 和 $U_1 = 12\text{ V}$ 处。

② 令 U_1 电源单独作用 (将开关 K_1 投向 U_1 侧, 开关 K_2 投向短路侧), 用直流数字电压表和毫安表 (接电流插头) 测量各支路电流及各电阻元件两端的电压, 数据记入表 1.1 中。在表 1.1 中电流的单位为毫安 (mA), 电压的单位为伏特 (V)。

③ 令 U_2 电源单独作用 (将开关 K_1 投向短路侧, 开关 K_2 投向 U_2 侧), 重复实验步骤 2 的测量和记录, 数据记入表 1.1 中。

表 1.1 电阻电路的叠加原理实验数据

实验内容	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	U_{AB}	U_{CD}	U_{AD}	U_{DE}	U_{FA}
U_1 单独作用										
U_2 单独作用										
U_1 、 U_2 共同作用										

④ 令 U_1 和 U_2 共同作用 (开关 K_1 和 K_2 分别投向 U_1 和 U_2 侧), 重复上述的测量和记录, 数据记入表 1.1 中。

⑤ 将 R_5 (330 Ω) 换成二极管 1N4007 (即将开关 K_3 投向二极管 1N4007 侧), 重复 1~4 的测量过程, 数据记入表 1.2 中。在表 1.2 中电流的单位为毫安 (mA), 电压的单位为伏特 (V)。

表 1.2 二极管电路的叠加原理实验数据

实验内容	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	U_{AB}	U_{CD}	U_{AD}	U_{DE}	U_{FA}
U_1 单独作用										
U_2 单独作用										
U_1 、 U_2 共同作用										

2. 仿真电路图绘制

按如图 1.9 所示画出如图 1.10 所示仿真电路图, XMM1 ~ XMM3 是把万用表当电流表用, 分别测量 $I_1 \sim I_3$, XMM4 ~ XMM9 是把万用表当电压表用, 测量表 1.1 中的各电压值, 万用表笔的接入要注意极性, 各元器件及仪表的调用、编辑和设置方法如下。

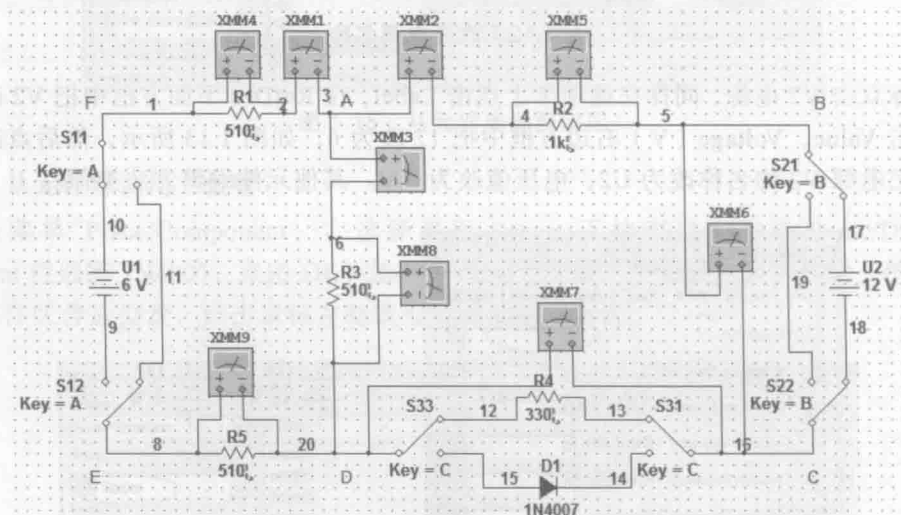


图 1.10 叠加定理电路仿真电路图

(1) 调用直流电压源

点击 Place/Component, 如图 1.11 所示, 在 Group 下拉窗口中选择 Source, 在 Component 栏选择 DC_power, 点击 OK, 该直流电压源就跟随鼠标移动, 把鼠标移动到电路工作区合适位置, 点击鼠标左键就可得到一个直流电压源, 同样操作得到另一个直流电压源。

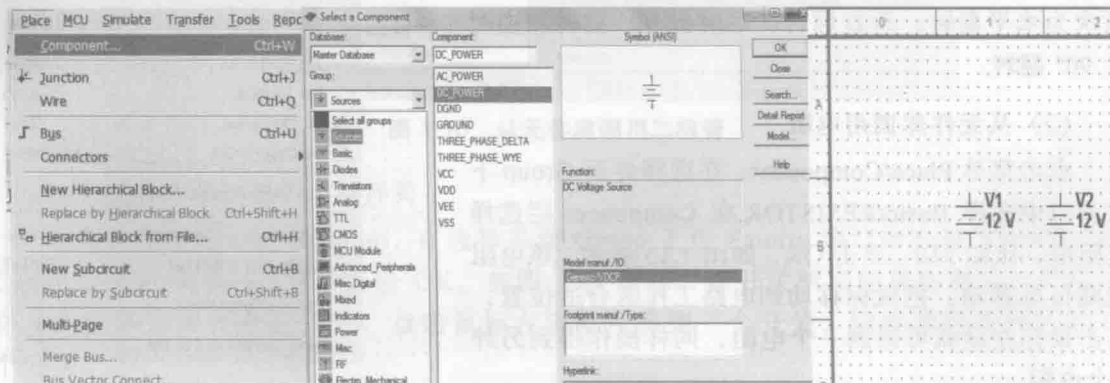


图 1.11 调用直流电压源

用鼠标双击 V1 电源, 出现如图 1.12 所示选项卡, 点击 Label, 在 RefDes 下方方框中把 V1 改为 U1, 点击 OK 按钮, 就可以把电源 V1 的名称改为 U1。

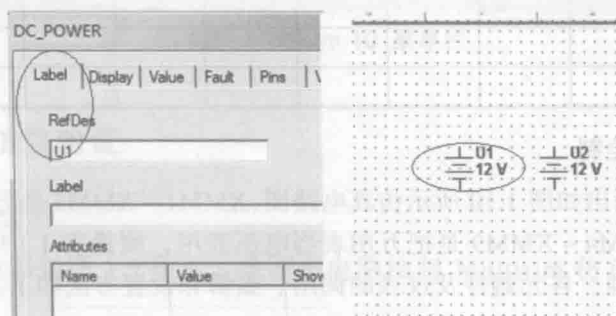


图 1.12 改变电源名称

用鼠标双击 V2 电源, 同样在选项卡上点击 Label, 在 RefDes 下方方框中把 V2 改为 U2, 选项卡点击 Value, Voltage (V) 右边方框中把 12 改为 6, 如图 1.13 所示, 然后点击 OK 按钮, 就可把电源 V2 的名称改为 U2, 电压值改为 6 V。其他元件编辑方法类似。

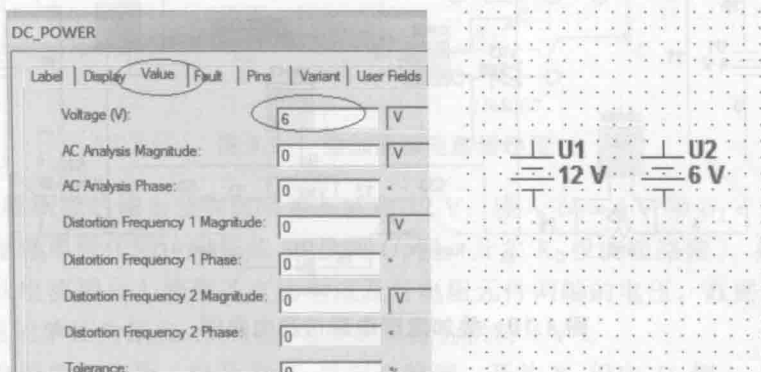


图 1.13 改变电压值

元器件可以根据需要进行移动和翻转, 点击选中后鼠标左键拖动就可以移动该器件, 选中鼠标右键就可以选择翻转的方向, 如图 1.14 所示, 圈内从上到下依次为水平翻转、垂直翻转、顺时针 90° 翻转和逆时针 90° 翻转。

(2) 从元件库调用电阻

点击菜单 Place/Component, 在选择界面 Group 下拉窗口中选择 Basic/RESISTOR, 在 Component 栏选择电阻值, 比如 510, 点击 OK, 如图 1.15 所示, 该电阻就随鼠标移动, 把鼠标移动到电路工作区合适位置, 点击鼠标左键就可得到一个电阻, 同样操作得到另外 4 个电阻。

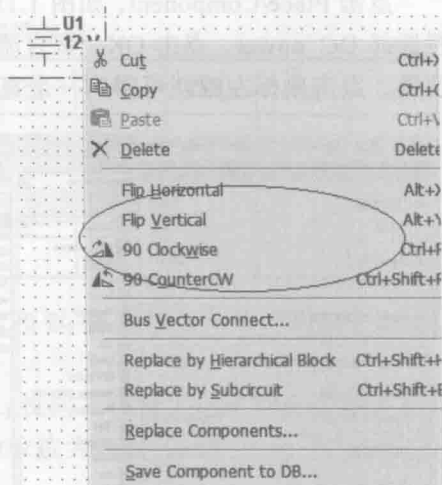


图 1.14 元器件翻转

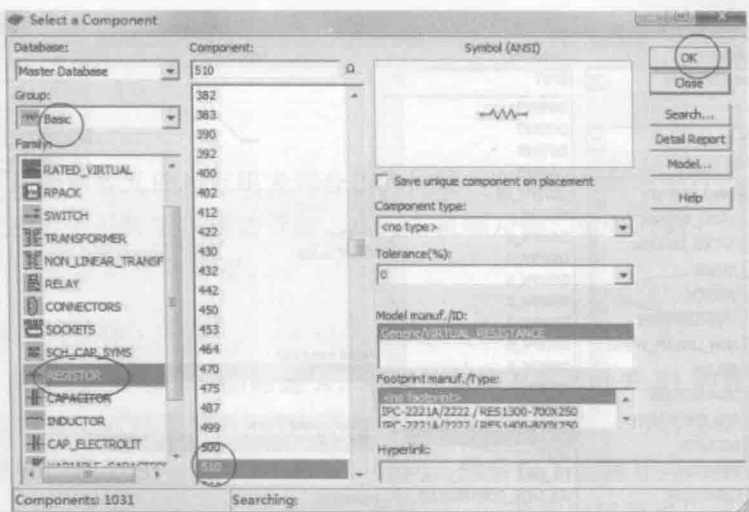


图 1.15 从元件库调用电阻

(3) 从元件库调用二极管

点击菜单 Place/Component, 在选择界面 Group 下拉窗口中选择 Basic/Diodes, 在 Component 栏选择 1N4007, 点击 OK, 如图 1.16 所示, 该二极管就随鼠标移动, 把鼠标移动到电路工作区合适位置, 点击鼠标左键就可得到一个二极管。

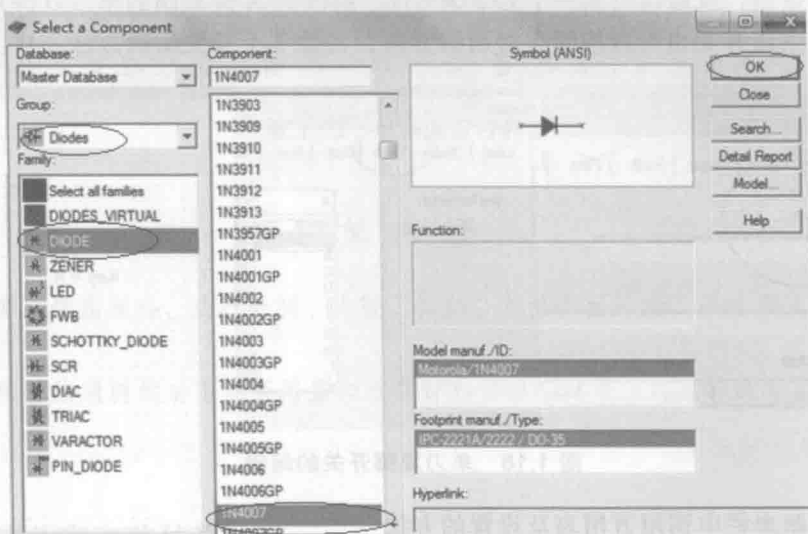


图 1.16 从元件库调用二极管

(4) 元件库调用单刀双掷开关

点击菜单 Place/Component, 在选择界面 Group 下边 Family 窗口中选择 SWITH, 在 Component 栏选择 SPDT, 点击 OK, 如图 1.17 所示, 该开关就跟随鼠标移动, 把鼠标移动到电路工作区合适位置, 点击鼠标左键就可得到一个开关, 同样操作得到另外 5 个开关。

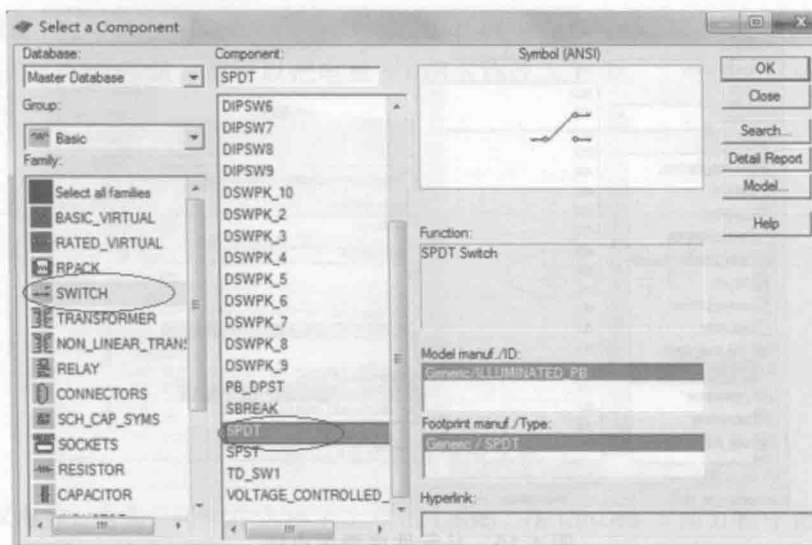


图 1.17 元件库调用单刀双掷开关

(5) 单刀双掷开关的编辑

双击单刀双掷开关 J1，在选项卡上点击 Label，在 RefDes 下方方框中把原来调用时自动给的名称 J1 改为 S11，如图 1.18 所示，点击 Value，在 Key for Switch 右边的下拉窗口中选择 A，按 OK 按钮，就可以得到一个名字为 S11、由键盘 A 键控制的单刀双掷开关，当然，用鼠标直接点击该开关也可以控制它接通的方向，其他 5 个开关编辑方法一样。

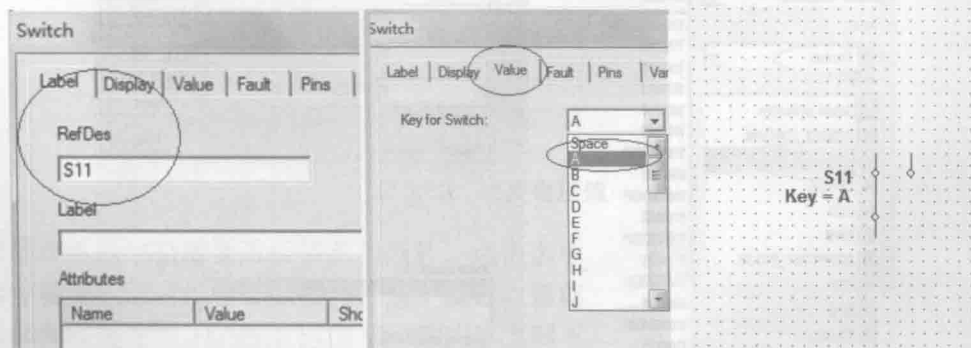


图 1.18 单刀双掷开关的编辑

(6) 从仪器表栏中调用万用表及设置的方法

① 仪器仪表的图标比较小，鼠标停留在该图标上就会自动显示其英文名字，像选元件一样，点击图标就可以选用该仪器，由于万用表在一个仿真电路文件中没有量程限制，因此在需要测量的电压或电流的地方都接上一个万用表。

② 万用表有测量交、直流电压、电流，还可以测量电阻等功能，点击工作区 XMM1 万用表，出现如图 1.19 所示的设置界面，在界面按下“A”和“—”按钮，该表就可以测量直流电流，



图 1.19 调用万用表

如按下“V”按钮,就可以测量直流电压,设置方法很直观,其他万用表根据测量量很容易设置完成。

(7) 电路图的连接

在电路工作区拖动各元件和万用表到合适的位置,布局安排好后就可以画连接线,点击元件管脚,移动鼠标到另外要接线的管脚,再点击鼠标左键,就可以画上连接线了,最后就可以得到如图 1.10 所示的总电路图。

(8) 电路的仿真操作

根据表 1.1、表 1.2 要求,按动键盘 A,可以控制单刀双掷开关 S1 的连接方向,按动键盘 B 键,可以控制单刀双掷开关 S2 的连接方向,按动键盘 C 键,可以控制单刀双掷开关 S3 的连接方向,设置好开关 S1、S2、S3 的连接方向,然后按下电源开关,如图 1.20 所示,双击各个万用表,就会显示万用表的测量和设置界面,从读数窗口就可以读到表 1.1、表 1.2 中要测量的电流和电压值。

注意:工作区万用表的数量比较多,打开界面后,哪个界面对应原理图上哪个表,可以看表头标注,如 XMM1 是测量 I_1 的, XMM4 是测量 U_{FA} 的,其他类似。

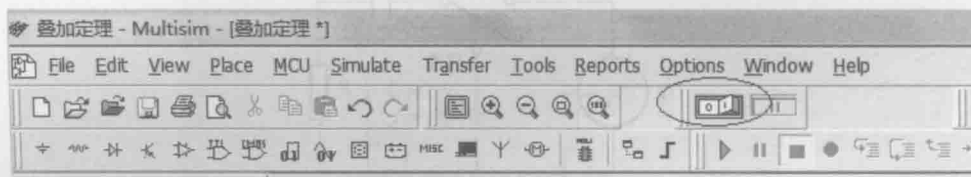


图 1.20 电路图运行界面

思考题

1. 根据实验数据表格,进行分析、比较、归纳、总结实验结论,即验证线性电路的叠加性与齐次性。
2. 各电阻器所消耗的功率能否用叠加原理计算得出?试用上述实验数据,进行计算并得出结论。

1.2.3 一阶动态电路仿真

一阶电路是指用一阶微分方程描述的动态电路。

动态电路是至少包含一个储能元件(电感或电容)的集中参数电路。当动态电路的结构或元件的参数发生变化时,会产生过渡过程,使电路改变原来的工作状态而转变到另一工作状态。动态电路任意时刻的响应与激励的过去值有关,即使激励不再作用,仍可能有响应。

在一阶 RC 电路中,由于电容器是一种储能元件,它在电路的通断、换接时,其储能不