

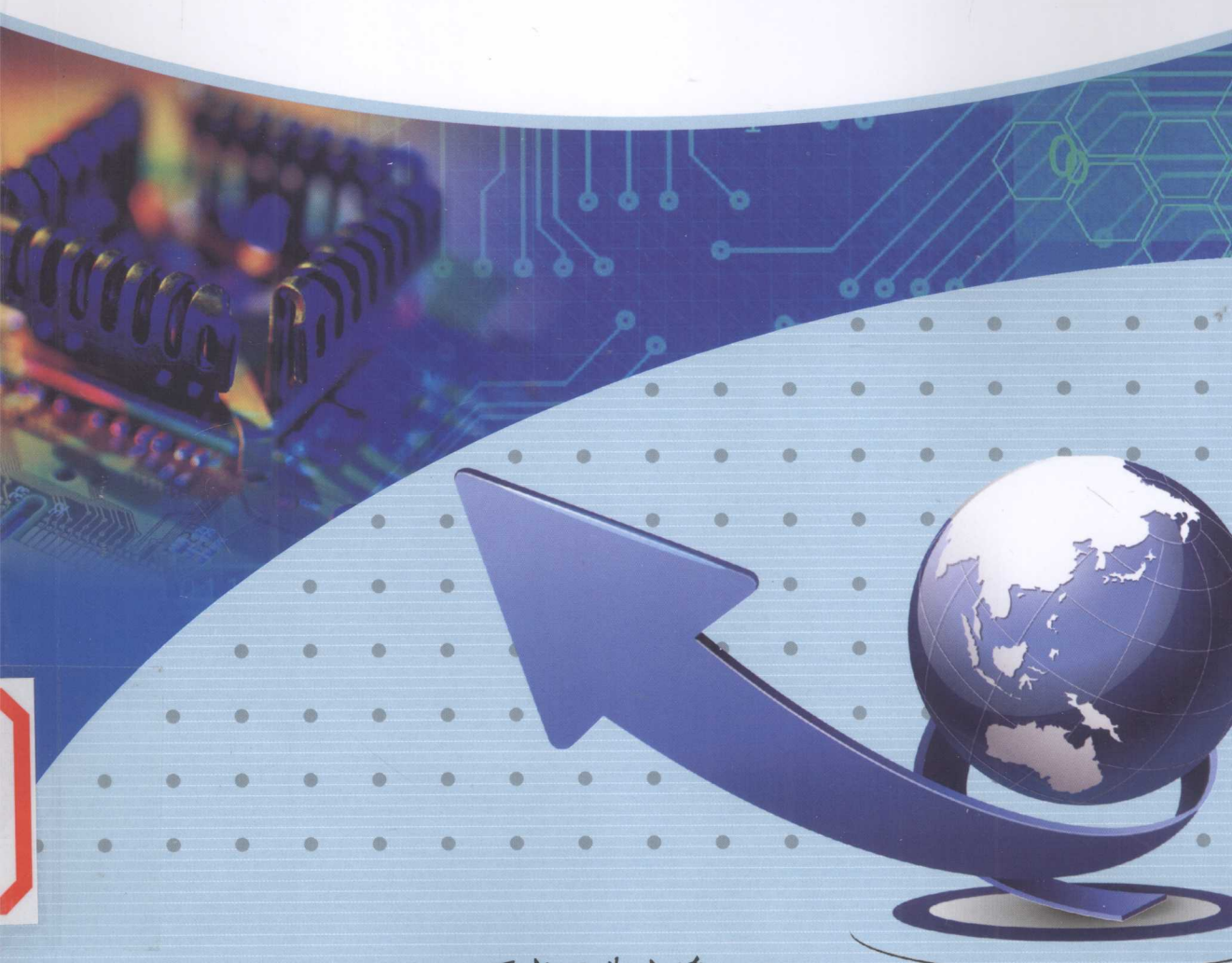


工业和信息化部“十二五”规划教材

电子线路实验

——模拟电路部分

包 涛 徐瑞萍 林华杰◎编著



西北工业大学出版社



工业和信息化部“十二五”规划教材

DIANZI XIANLU SHIYAN

电子线路实验

——模拟电路部分

包 涛 徐瑞萍 林华杰 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 为适应电子技术实验课程改革的需要,本书将计算机技术与模拟电子技术实验有机结合,通过在计算机上做虚拟分析、设计实验,作为进入实验室进行实验的环节之一。

全书共分5章。第1章为Multisim 13概述,讲解Multisim 13的使用方法、基本操作、元件库描述、仪器仪表的使用和基本分析方法等综合性内容;第2章收录了一些常用电子元器件资料供学生参考;第3章为结合教材《模拟电子技术基础》(童诗白,华成英,清华大学电子学教研组,高等教育出版社,2006年出版)各章节内容安排的验证性基础实验,目的是培养学生基本工程素质、基本实验技能、分析和解决问题的能力及创新思维;第4章为综合性实验,要求学生在完成基础实验内容后,能够综合应用所学实验知识,掌握综合电路的基本调试技巧和方法;第5章为设计性实验,旨在培养学生解决实际问题的能力,掌握设计制作电子产品的方法和步骤。

本书可作为高等学校电子类与自动控制类专业学生电子技术实验教材,也可供计算机专业、物理专业学生选用,对自学者和从事电子工程设计人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路实验. 模拟电路部分/包涛,徐瑞萍,林华杰编著. —西安:西北工业大学出版社, 2015.8

工业和信息化部“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5612-4531-6

I. ①电… II. ①包…②徐…③林… III. ①电子线路—实验—高等学校—教材②模拟电路—实验—高等学校—教材 IV. ①N710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 194994 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:兴平市博闻印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:11.5

字 数:276 千字

版 次:2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷

定 价:32.00 元

前 言

实验是教学实践过程中的重要环节,是提高学生动手能力的有力措施,是理论联系实际的基石和培养学生形成创造性思维的关键环节之一。重视实践教学,是提高该课程教学质量的一个重要方面。模拟电子技术基础是高等院校工科专业的重要基础课程,是一门理论性和实践性都很强的课程。

随着电子技术和计算机技术的发展,电子产品已与计算机紧密相连,电子产品的智能化日益完善,电路的集成度越来越高,而产品的更新周期却越来越短。电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)技术,使得电子线路的设计人员能够在计算机上完成电路的功能设计、逻辑设计、性能分析、时序测试直至印刷电路板的自动设计。发达国家目前已经基本上不存在电子产品的手工设计。EDA是在计算机辅助设计(CAD)技术的基础上发展起来的计算机设计软件系统。20世纪80年代后期,出现了一批优秀的EDA软件,如PSPICE, EWB等。EDA软件代表着电子系统设计的技术潮流,已经成为集成电路、印制电路板、电子整机系统设计的主要技术手段。

美国NI公司(美国国家仪器公司)的Multisim软件就是这方面很好的一个工具。它界面直观、操作方便、仿真测试和分析功能强大,非常适合电子类课程的课堂教学和实践教学,有效地解决了理论教学与实际动手实验脱节的这一老大难问题。学生可以很好地、方便地把刚刚学到的理论知识用计算机仿真真实地再现出来,这极大地提高了学生的学习热情和积极性,真正变被动学习为主动学习,在教学活动中已经得到了很好的体现。书中所有电路均经NI Multisim 13软件仿真验证。

本书配合模拟电子基础理论教学编排了相关知识的实验实践内容,包含有基础类验证实验、提高设计类实验、计算机仿真虚拟实验和实验室实际操作实验。目的在于将电子技术理论教学与实验各环节有机结合,加深学生对基础理论的理解,加强学生基本设计能力和实践能力的训练,全面提升学生的理论水平和实验实践综合能力。

此次编写工作得到了西北工业大学电子信息学院和电子实验教学中心的大

力支持。同时,在编撰过程中,得到了西北工业大学李会方教授的热心指导,得此机会,一并表示衷心的感谢。

由于水平有限,虽仔细核对书稿,认真校对,但书中难免有疏漏之处,敬请读者批评。

编 者

2015年6月

目 录

第 1 章 Multisim 13 概述	1
1.1 Multisim 13 软件介绍	1
1.2 Multisim 13 用户界面	3
1.3 创建电路图的基本操作	18
1.4 虚拟仪器的使用	20
1.5 基本分析方法	27
第 2 章 常用电子元器件	32
2.1 电阻器	32
2.2 常用半导体器件	37
2.3 电感器	40
2.4 电容器	41
第 3 章 验证性基础实验	46
3.1 单级共射放大电路	46
3.2 差动放大电路	62
3.3 集成运算放大器的线性应用	71
3.4 集成运算放大器的其他应用	82
3.5 多级负反馈放大电路	101
3.6 低频功率放大电路	110
3.7 整流、滤波电路	128
3.8 555 定时器及其应用	137
第 4 章 综合性实验	146
4.1 方波-三角波-正弦波函数信号发生器	146
4.2 电压/频率转换电路	154
4.3 电流/电压转换电路	159
4.4 实验报告书写结构	162
第 5 章 设计性实验	163
5.1 用运算放大器组成万用表的设计	163
5.2 直流稳压电源的设计	167
5.3 温度控制电路的设计	171
参考文献	177

第1章 Multisim 13 概述

“把实验室装进 PC 机中。”

“软件就是仪器。”

——美国 NI 公司提出的理念

EDA 技术已经在电子设计领域得到广泛应用。一台电子产品的设计过程,从概念的确立,到包括电路原理、PCB 版图、单片机程序、机内结构、FPGA 的构建及仿真、外观界面、热稳定分析、电磁兼容分析在内的物理级设计,再到 PCB 钻孔图、自动贴片、焊膏漏印、元器件清单、总装配图等生产所需资料等等全部在计算机上完成。EDA 技术借助计算机存储量大、运行速度快的特点,可对设计方案进行人工难以完成的模拟评估、设计检验、设计优化和数据处理等工作。

本章介绍美国 NI 公司具有代表性的虚拟电子工作台仿真软件 Multisim 13 的特点、用户界面和使用方法。

1.1 Multisim 13 软件介绍

计算机分析和计算机辅助设计是电子工程中的重要环节。Multisim 是美国国家仪器(NI)有限公司推出的以 Windows 为基础的仿真工具,可以对模拟、数字和模拟/数字混合电路进行仿真,克服了传统电子产品的设计受实验室客观条件限制的局限性,用虚拟的元件搭建各种电路,用虚拟的仪表进行各种参数和性能指标的测试。因此,在电子工程设计和高校电子类教学领域中得到广泛应用。与其他电路仿真软件相比,Multisim 13 具有系统集成度高,界面直观和操作方便等特点。

Multisim 13 软件把电路图的创建、电路的测试分析和仿真结果等内容都集成到一个电路窗口中。整个操作界面就像一个实验平台。创建电路所需的元器件、仿真电路所需的测试仪器均可以直接从电路窗口中选取,并且虚拟的元器件、仪器与实物特性非常相似,仪器的操作开关、按键与实际仪器也极为相似。

1. 提供较为丰富的元器件库

Multisim 13 提供的元件库拥有 13 000 个元件。尽管元件库很大,但由于元件被分为不同的“系列”,因而可以方便地找到所需要的元件。

Multisim 13 元件库含有所有的标准器件及当今最先进的数字集成电路。数据库中的每一个器件都有具体的符号、仿真模型和封装,用于电路的建立、仿真和印刷电路板的制作。

Multisim 13 还含有大量的交互元件、指示元件、虚拟元件、额定元件和三维立体元件。交互元件可以在仿真过程中改变元器件的参数,避免为改变元器件参数而停止仿真,节省了时

间,也使仿真的结果能直观反映元件参数的变化;指示元件可以通过改变外观来表示电平大小,给用户一个实时视觉反馈;虚拟元件的数值可以任意改变,有利于说明某一概念或理论观点;额定元件通过“熔断”来加强用户对所设计的参数超出标准的理解;3D 元件的外观与实际元件非常相似,有助于理解电路原理图与实际电路之间的关系。

2. 元件放置迅速和连线简洁方便

在虚拟电子工作平台上建立电路的仿真,相对比较费时的步骤是放置元件和连线,Multisim 13 可以使学生几乎不需要指导就可以轻易地完成元件的放置。元件的连接也非常简单,只须单击源引脚和目的引脚就可以完成元件的连接。当元件移动和旋转时,Multisim 13 仍可以保持它们的连接。连线可以任意拖动和微调。

3. 进行 SPICE 仿真

对电子电路进行 SPICE(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)仿真可以快速了解电路的功能和性能。Multisim 13 为模拟、数字以及模拟/数字混合电路提供了快速并且精确的仿真。Multisim 13 的核心是基于使用带 XSPICE 扩展的伯克利 SPICE 的强大的工业标准 SPICE 引擎来加强数字仿真的。Multisim 13 的界面对最为陌生的用户来说都是非常直观的。这使用户只须运用 SPICE 的功能而不必去担心 SPICE 复杂的句法。

4. 进行 MCU 仿真

Multisim 13 扩充了 MCU(Micro Controller Unit,微控制单元)模块,支持 INTEL/Atmel 8051/8052 和 Microchip 的 PIC16F84 和 PIC16F84a,典型的外设有 RAM、ROM、键盘、图形和字符型液晶,并包含设置断点、单步运行、查看寄存器、改写内存等高级调试功能。支持 C 语言和汇编语言,可以编写头文件和使用库,还可以将加载的外部二进制文件进行反汇编,从而使单片机仿真变得更为容易和方便。

5. 虚拟仪器

Multisim 13 提供了逻辑分析仪、安捷伦仪器、波特图仪、失真分析仪、频率计数器、函数信号发生器、数字万用表、网络分析仪、频谱分析仪、瓦特表和字信号发生器等 18 种虚拟仪器,其功能与实际仪表相同。特别是安捷伦的 54622D 示波器、34401A 数字万用表和 33120A 信号发生器,它们的面板与实际仪表完全相同,各旋钮和按键的功能也与实际一样。

6. 电路分析手段完备

Multisim 13 除了用 7 种常用的测试仪表来对仿真电路进行测试之外,还提供了电路的直流工作点分析、交流分析、敏感度分析、3dB 点分析、批处理分析、直流扫描分析、失真分析、傅里叶分析、模型参数扫描分析、蒙特卡罗分析、噪声分析、噪声系数分析、温度扫描分析、传输函数分析、用户自定义分析和最坏情况分析等 19 种分析方法。这些分析在现实中有可能是无法实现的。

7. 强大的作图功能

Multisim 13 提供了强大的作图功能,可将仿真分析结果进行显示、调节、储存、打印和输出。使用作图器还可以对仿真结果进行测量、设置标记、重建坐标系以及添加网格。所有显示的图形都可以被微软 Excel,Mathsoft Mathcad 以及 LABVIEW 等软件调用。

8. 后处理器

利用后处理器,可以对仿真结果和波形进行传统的数学和工程运算,如算术运算、三角运算、代数运算、布尔代数运算、矢量运算和复杂的数学函数运算。

9. RF 电路的仿真

大多数 SPICE 模型在进行高频仿真时,SPICE 仿真的结果与实际电路测试结果相差较大,因此对射频电路的仿真是不准确的。Multisim 13 提供了专门用于射频电路仿真的元件模型库和仪表,以此搭建射频电路并进行实验,提高了射频电路仿真的准确性。

10. HDL 仿真

利用 MultiHDL 模块(须另外单独安装),Multisim 13 还可以进行 HDL(Hardware Description Language,硬件描述语言)仿真。在 MultiHDL 环境下,可以编写与 IEEE 标准兼容的 VHDL 或 Verilog HDL 程序,该软件环境具有完整的设计入口、高度自动化的项目管理、强大的仿真功能、高级的波形显示和综合调试功能。

1.2 Multisim 13 用户界面

本节将系统地介绍 Multisim 13 用户界面的基本操作和命令。单击 Windows“开始”菜单中“程序”下的 Multisim 13,弹出如图 1.2.1 所示的 Multisim 13 用户界面。

Multisim 13 用户界面主要由菜单栏、标准工具栏、仿真开关、项目栏、元件工具栏和仪器工具栏等组成。下面分别对上述各部分内容进行介绍。

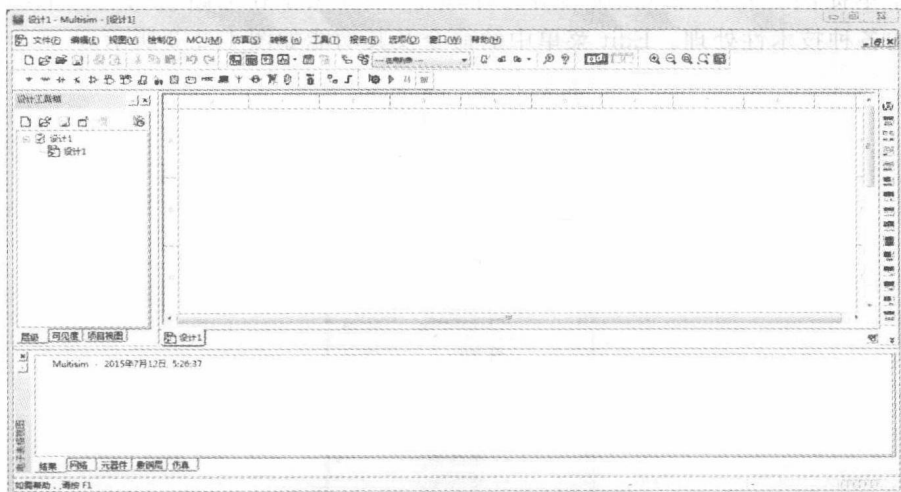


图 1.2.1 Multisim 13 用户界面

1.2.1 菜单栏(Menu Bar)

Multisim 13 软件的菜单栏提供了绝大多数的功能命令。菜单栏从左向右依次是文件、编

辑、视图、放置、微控制器、仿真、文件输出、工具、报告、选项、窗口和帮助共 12 个主菜单。

1. 文件菜单 (File)

File 菜单提供了全部的文件操作命令,主要用于管理 Multisim 13 所创建的电路文件。File 菜单中的命令及其功能如图 1.2.2 所示。



图 1.2.2 文件菜单中的命令及功能

2. 编辑菜单 (Edit)

Edit 菜单提供了剪切、粘贴、旋转等操作命令,主要用于在电路绘制过程中,对电路和元器件进行的各种技术性处理。Edit 菜单中的命令及其功能如图 1.2.3 所示。



图 1.2.3 编辑菜单中的命令及功能

3. 视图菜单 (View)

View 菜单提供用于确定仿真界面上显示的内容以及电路原理图缩放和元件查找的操作命令。View 菜单中的命令及其功能如图 1.2.4 所示。



图 1.2.4 视图菜单中的命令及功能

4. 放置菜单 (Place)

Place 菜单提供了在电路窗口内放置元器件、连接点、总线和文字等操作命令。Place 菜单中的命令及其功能如图 1.2.5 所示。



图 1.2.5 绘制菜单中的命令及功能

5. 微控制器菜单(MCU)

MCU 菜单提供了在电路工作窗口内 MCU 的调试等操作命令。MCU 菜单中的命令及其功能如图 1.2.6 所示。

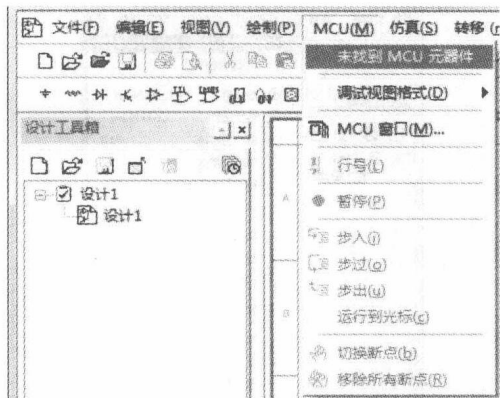


图 1.2.6 MCU 菜单中的命令及功能

6. 仿真菜单(Simulate)

Simulate 菜单提供了常用的仿真设置与操作命令。Simulate 菜单中的命令及其功能如图 1.2.7 所示。

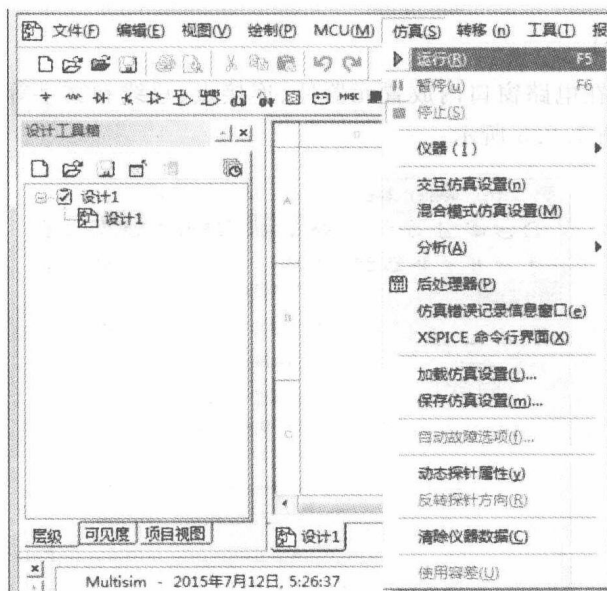


图 1.2.7 仿真菜单中的命令及功能

7. 文件输出菜单(Transfer)

Transfer 菜单提供 5 个将仿真结果传递给其他软件处理的常用传输命令。Transfer 菜单中的命令及其功能如图 1.2.8 所示。

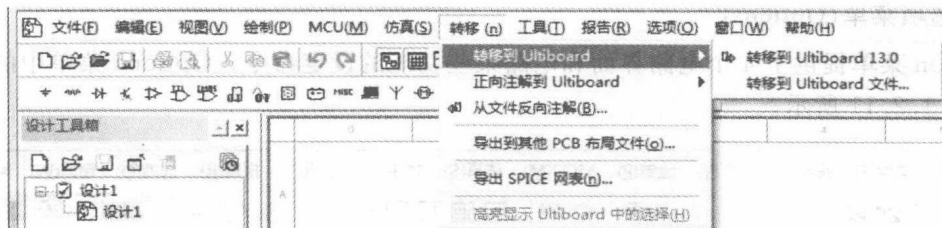


图 1.2.8 转移菜单中的命令及功能

8. 工具菜单 (Tools)

Tools 菜单提供了常用电路向导和管理命令,主要用于编辑或管理元器件和元件库。Tools 菜单中的命令及其功能如图 1.2.9 所示。

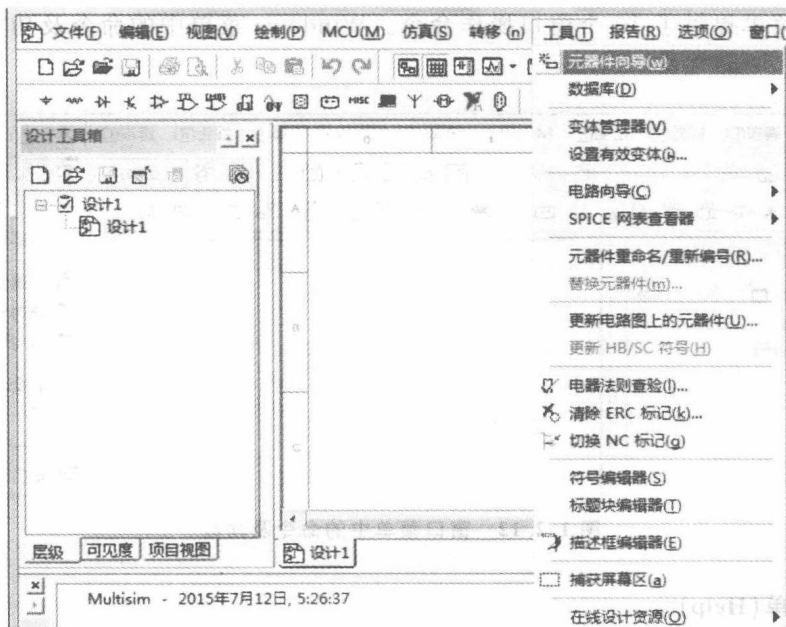


图 1.2.9 工具菜单中的命令及功能

9. 报告菜单 (Reports)

Reports 菜单提供了材料清单等 6 个报告命令,主要用于生成有关元件的使用报告、详细报告、列表报告等。Reports 菜单中的命令及功能如图 1.2.10 所示。

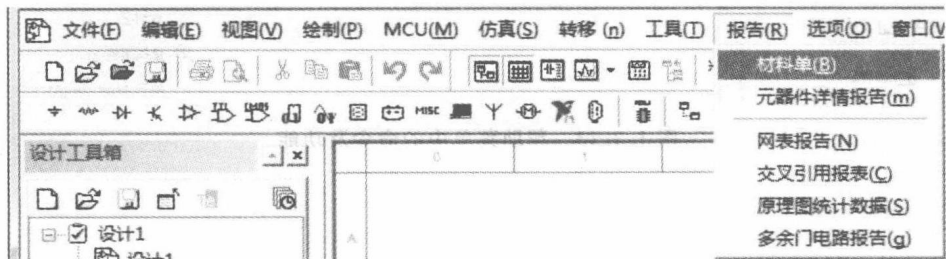


图 1.2.10 报告菜单中的命令及功能

10. 选项菜单(Options)

Option 菜单提供了 4 个电路界面和电路某些功能的设定命令。Options 菜单中的命令及功能如图 1.2.11 所示。



图 1.2.11 选项菜单中的命令及功能

11. 窗口菜单(Windows)

Windows 菜单提供了 10 个窗口操作命令。Windows 菜单中的命令及功能如图 1.2.12 所示。

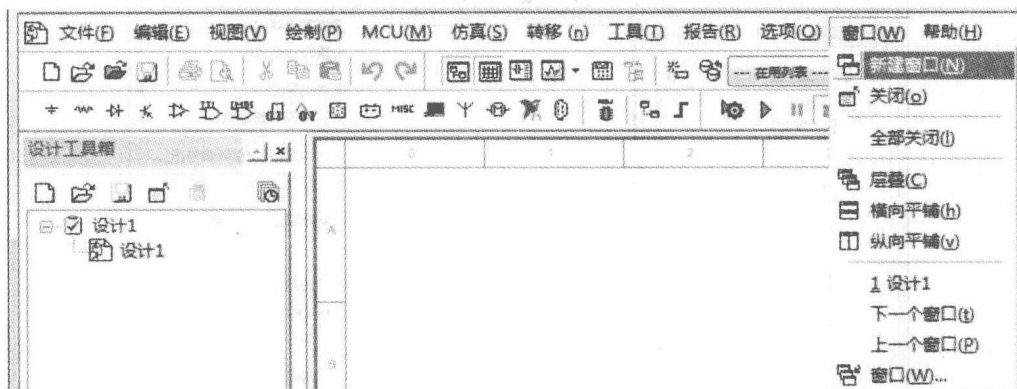


图 1.2.12 窗口菜单中的命令及功能

12. 帮助菜单(Help)

Help 菜单主要用于提供在线技术帮助和使用指导。Help 菜单中的命令及功能如图 1.2.13 所示。

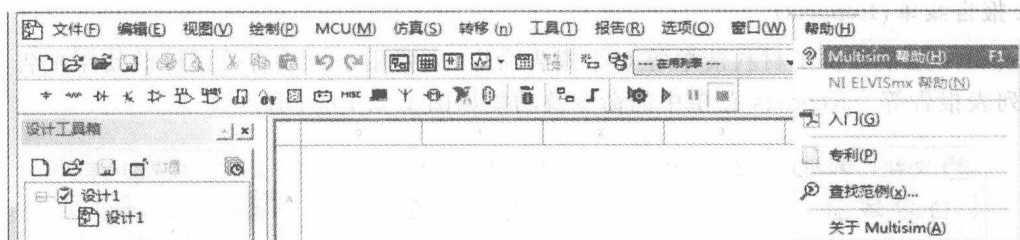


图 1.2.13 帮助菜单中的命令及功能

1.2.2 标准工具栏(Standard Toolbar)

标准工具栏如图 1.2.14 所示,包含了常用的基本功能按钮,从左向右依次是新建、打开、保存、剪切、复制、粘贴、打印、放大、缩小、100%放大、全屏显示、实例查找(Find Examples)、显示/隐藏 SPICE 网表查看器(Show/Hide SPICE Netlist Viewer)、显示/隐藏项目工具栏(Show/Hide Design Toolbar)、显示/隐藏电路元件属性视窗(Show/Hide Spreadsheet View)、数据库管理(Database Manager)、面包板设置(Show Breadboard)、创建元件(Create Component)、分析(Grapher Analyses List)、后处理(Postprocessor)、电器规则检查(Electrical Rules Checking)、屏幕区域捕获(Capture Screen Area)、层次(Go to Parent Sheet)、创建一个印刷电路板图(Open an Ultiboard)、创建印刷电路板图的注释文件(Forward Annotate to Ultiboard)、使用元件列表(In Use List)、访问教育网站(Educational Website)和帮助(Help)按钮。



图 1.2.14 标准工具栏

1.2.3 仿真开关(Simulation Switch)

仿真开关如图 1.2.15 所示,主要用于仿真过程的控制。



图 1.2.15 仿真开关

1.2.4 设计工具箱(Design Toolbox)

项目栏如图 1.2.16 所示。利用项目栏可以把有关电路设计的原理图、PCB 版图、相关文件、电路的各种统计报告分类管理,还可以观察分层电路的层次结构。

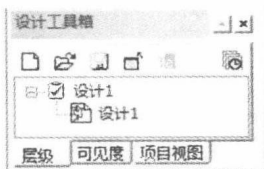


图 1.2.16 设计工具箱

1.2.5 元件工具栏(Component Toolbar)

Multisim 13 把所有的元件分成 21 类库,如图 1.2.17 所示。

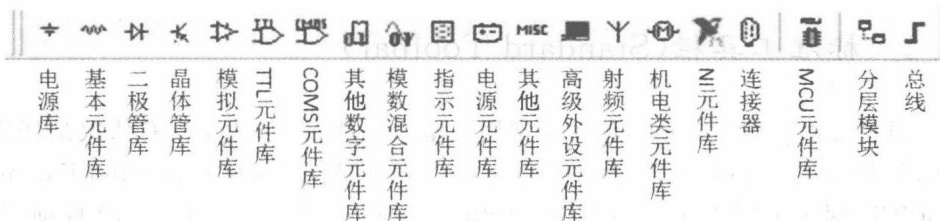


图 1.2.17 元件工具栏

在这 20 个分栏按钮中,元器件分组库占 14 个,其他工具占 3 个。单击工具栏任何一个分组库的按钮,均会弹出一个多窗口的元器件库操作界面,如图 1.2.18 所示。在元器件库 Database(数据库)窗口下,元器件库被分为主数据库(Master Database)、公共数据库(Corporate Database)和用户数据库(User Database)3 类。每一类元器件库均按工具栏上的分组方式,显示于分组(Group)窗口下。每一个元器件组又分为若干元器件系列,显示于系列(Family)窗口内。而元器件(Component)窗口显示的内容,是在系列窗口内被选中系列的元器件名称列表。

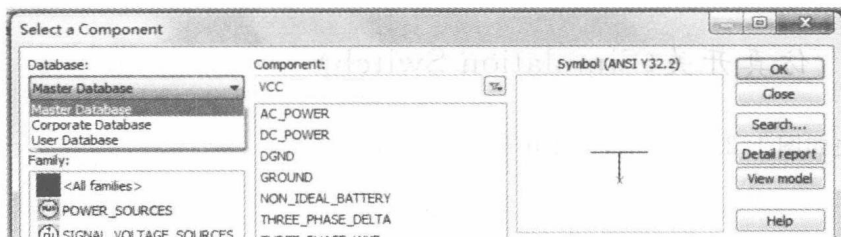


图 1.2.18 元器件库操作界面

1. 电源库 (Sources)

电源库系列窗口内的元器件如图 1.2.19 所示。

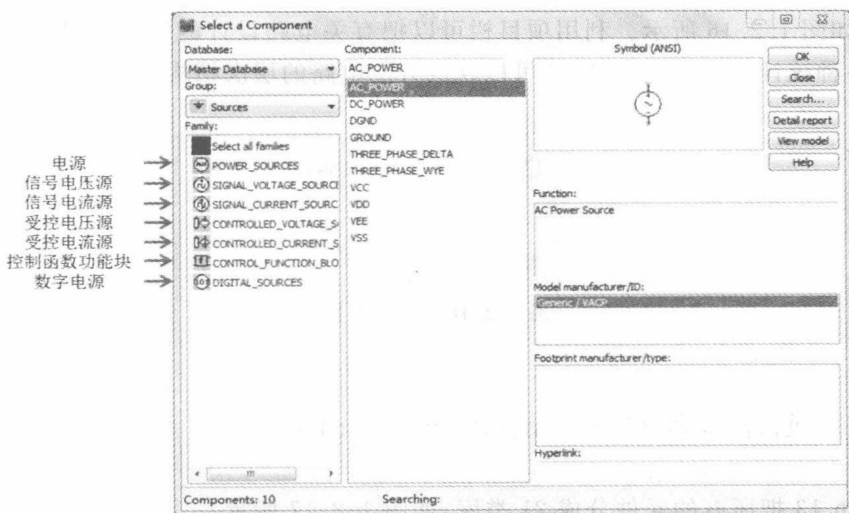


图 1.2.19 电源库中的元器件列表

在使用过程中须注意以下几点:

(1) 交流电源所设置电源的大小皆为有效值。

(2) 直流电源的取值必须大于零,大小可以从微伏到千伏,而且没有内阻。如果它与另外一个直流电压源或开关并联使用,必须给直流电压源串联一个电阻。

(3) 许多数字器件没有明确的数字接地端,但必须接上地才能正常工作。用 Multisim 13 进行数字电路仿真时,电路中的数字元件要接上示意性的数字接地端,并且不能与任何器件连接,数字接地端是该电源参考点。

(4) 地是一个公共的参考点,电路中所有的电压都是相对于该点的电位差。在一个电路中,一般来说应当有一个且只能有一个地。在 Multisim 13 中,可以同时调用多个接地端,但它们的电位都是 0V。并非所用电路都需要接地,但下列情形应考虑接地:

1) 运算放大器、变压器、各种受控源、示波器、波特图仪和函数发生器必须接地,对于示波器,如果电路中已有接地,示波器的接地端可不接地;

2) 模拟和数字元件的混合电路必须接地,可具体分为模拟地和数字地。

(5) V_{CC} 电压源常作为没有明确电源引脚的数字器件的电源,它必须放置在电路图上。 V_{CC} 电压源还可以用作直流电压源。通过其属性对话框可以改变电源电压的大小,并且可以是负值。另外,一个电路只能有一个 V_{CC} 。

(6) 对于除法器,若 Y 端接有信号,X 端的输入信号为 0,则输出端变为无穷大或一个很大的电压(高达 1.69TV)。

2. 基本元器件库 (Basic)

基本元器件库系列窗口内的元器件如图 1.2.20 所示。

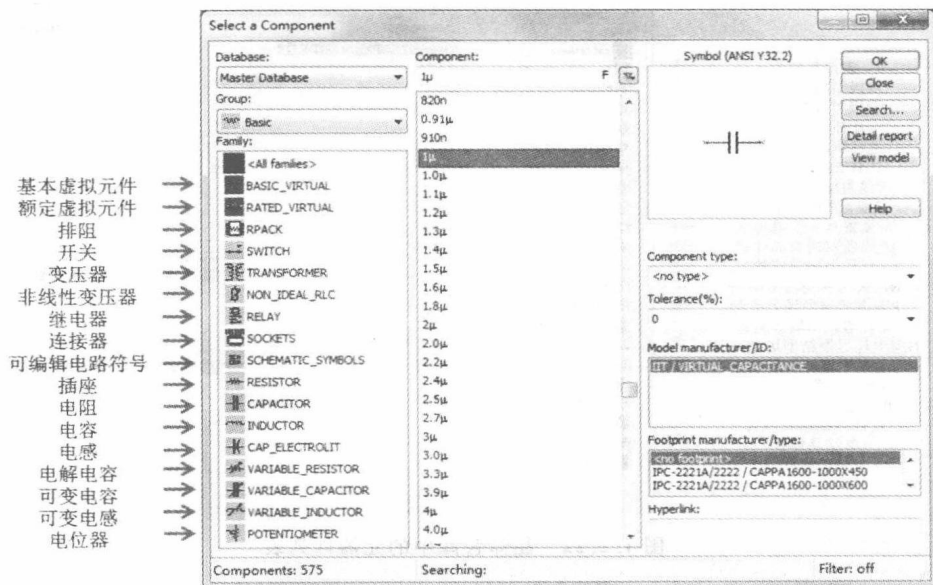


图 1.2.20 基本元器件库中的元器件列表

3. 二极管库 (Diodes)

二极管库系列窗口内的元器件如图 1.2.21 所示。