

电子电路仿真 实验与设计技术

王春玲 等编著



电子电路仿真实验与设计技术

王春玲 姜春玲 沈 丁 王双铭 编 著

彭 观 明 王 太 雷 郑 家 奎 副主编

中国科学技术出版社

·北 京·

图书在版编目(CIP)数据

电子电路仿真实验与设计技术/王春玲等编著. —北京:中国科学技术出版社,2005.6
ISBN 7-5046-4069-7

I.电… II.王… III.①电子电路-计算机仿真-实验②电子电路-电路设计
IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 060300 号

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

泰安市第三印刷厂印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:8.25 字数:200 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—500 册 定价:18.00 元

前 言

《电子电路仿真实验与设计技术》是一本引导读者利用 Multisim 2001 软件进行电路分析、电工学、模拟电子技术、数字电子技术课程虚拟实验与设计的工具书。

被誉为“计算机里的电子实验室”的 Multisim 2001 软件因其易学、易用、快捷、准确的特点而在国外高校和电子技术界广为应用。借助 Multisim 2001 软件的强大功能,用计算机替代实验室的工作平台,完成电子电路的设计、仿真、分析和验证将成为一件轻松愉快的事情,无论对教学还是科研,均可有效地节省成本与时间,提高效率。

作者结合自己的实践和研究,将优秀的仿真软件 Multisim 2001 与电子技术教学结合起来,编写了本书。全书包括两大部分,第一部分是 Multisim 2001 的使用指南,包括 1 至 3 章。第二部分包括 4 至 6 章,根据原国家教委高教司 1995 年制订的高等学校电路及电子技术课程基本要求,选编了用 Multisim 2001 完成的电路理论、模拟和数字电子技术课程的典型虚拟实验及设计,对每个实验和设计项目列出实验目的、实验原理、实验步骤,给出实验电路图和结果分析,并有思考题供读者使用。本书旨在帮助读者迅速掌握 Multisim 2001,并能够应用 Multisim 2001 完成电子技术相关课程的基本验证性实验及典型设计性实验,以加深读者对电子电路基本概念、基本理论的理解,增强电路分析和设计能力,培养工程观念和提高逻辑思维和创新能力,也为电工电子课程的改革打开了一扇新的窗口。

本书可作为普通高校、电大、高职高专及中专、技校涉电类专业电子技术课程的仿真实验教材或 EDA 入门教材使用,也可供电子爱好者参考。

本书的 1~3 章主要由王春玲和王太雷撰写,第 4 章主要由王春玲和彭观明撰写,第 5 章主要由姜春玲和郑家奎撰写,第 6 章主要由沈丁和王双铭撰写。全书由王春玲统稿。

本书为泰山学院科研基金项目。因作者水平有限,错误和不当难免,恳请批评指正。

作 者

2005 年 3 月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 电子电路虚拟实验的概念	(1)
1.2 关于电子设计自动化技术	(2)
1.3 Multisim 2001 简介	(3)
1.4 习题	(4)
第 2 章 Multisim 2001 的基本操作	(5)
2.1 Multisim 2001 的基本界面	(5)
2.1.1 Multisim 2001 的主窗口	(5)
2.1.2 用户界面设置	(15)
2.2 Multisim 2001 的基本操作	(16)
2.2.1 电原理图的创建	(16)
2.2.2 虚拟仪表的连接	(21)
2.2.3 电路仿真	(22)
2.2.4 子电路的建立与使用	(22)
2.2.5 帮助功能的使用	(24)
2.3 习题	(24)
第 3 章 Multisim 2001 的虚拟仪器与仿真分析方法	(26)
3.1 各种虚拟仪表的基本操作	(26)
3.1.1 电路分析中常用的虚拟仿真仪器	(26)
3.1.2 模拟电路中常用的虚拟仿真仪器	(30)
3.1.3 数字电路中常用的虚拟仿真仪器	(32)
3.1.4 高频电路中常用的虚拟仿真仪器	(37)
3.2 电路仿真常用分析方法	(44)
3.2.1 直流工作点分析	(45)
3.2.2 交流分析	(47)
3.2.3 瞬态分析	(48)
3.2.4 傅里叶分析	(50)
3.2.5 噪声分析	(50)
3.2.6 失真分析	(52)
3.2.7 直流扫描分析	(53)
3.2.8 灵敏度分析	(54)

3.2.9	参数扫描分析	(54)
3.2.10	温度扫描分析	(56)
3.2.11	极 - 零点分析	(56)
3.2.12	传输函数分析	(57)
3.3	Multisim 2001 的后续处理	(58)
3.3.1	Analysis Graphs 窗口处理	(58)
3.3.2	后处理器的基本操作	(60)
3.4	习题	(63)
第 4 章	Multisim 2001 在电路分析及电工学中的应用	(65)
4.1	电路基础理论仿真	(65)
4.1.1	验证欧姆定律	(65)
4.1.2	戴维南等效电路	(66)
4.1.3	叠加定理	(66)
4.2	电路的时域分析	(67)
4.2.1	一阶和二阶电路的过渡过程	(67)
4.2.2	电路的频率特性	(68)
4.3	交流电路	(69)
4.3.1	二阶 RLC 串联谐振电路分析	(69)
4.3.2	交流电路的功率和功率因数	(70)
4.3.3	三相交流电路分析	(71)
4.4	基本电路设计	(72)
4.4.1	继电器控制电路	(72)
4.4.2	光柱(Bqrgaph)的使用	(73)
4.5	习题	(73)
第 5 章	Multisim 2001 在模拟电子中的应用	(77)
5.1	单级共射放大电路分析	(77)
5.2	差动放大电路	(80)
5.3	负反馈放大电路	(81)
5.4	加法电路	(84)
5.5	积分和微分电路	(85)
5.6	比较电路	(87)
5.7	文氏桥振荡器	(89)
5.8	有源滤波电路	(90)
5.9	直流稳压电路	(93)
5.10	函数发生器的设计	(95)
第 6 章	Multisim 2001 在数字电路中的应用	(97)
6.1	逻辑代数与逻辑门电路	(97)

6.2	常用组合逻辑电路研究	(99)
6.3	触发器逻辑功能测试	(105)
6.4	计数器及其应用	(109)
6.5	555 定时器及其应用	(115)
6.6	数字电路综合设计	(117)

第1章 概述

1.1 电子电路虚拟实验的概念

实验是促进科学技术发展的重要手段,也是电工、电子技术课程教学中不可缺少的环节,因为学习电工、电子技术不仅要求掌握基本原理和计算公式,而且要求在掌握基本原理的基础上,着重培养对电路的分析设计和应用开发能力。多年来传统的实验方法在帮助学生基本理论、基本知识和基本技能,培养学生分析问题和解决问题的能力方面发挥了重要的作用。

近年来,随着计算机技术的飞速发展,虚拟实验作为一种新兴的实验技术迅速崛起。虚拟实验就是利用仿真软件在计算机上做实验,所用的软件像 Multisim 2001、PSPICE 等都是国际上应用非常广泛的优秀软件。其特点是图形界面操作、简单易学、真实准确,可实现绝大多数硬件电路实验的功能。

随着电子技术和计算机技术的飞速发展,电子电路的集成度越来越高,系统规模越来越大,人们对电子产品智能化的要求也越来越高,而电子产品的更新周期则越来越短。新电路、新器件不断涌现,由于实验室受条件的限制,无法满足各种电路的设计和调试要求。采用虚拟实验的方法,在计算机上用软件仿真出一个测试仪器先进、元器件品种齐全的电子工作台,一方面弥补了实验室在元器件品种、规格和数量上的不足,避免了使用中仪器仪表损坏等不利因素;另一方面又可以通过验证、测试、设计、纠错和创新等不同形式的针对性训练,培养学生分析、应用和创新的能力,使学生了解用 EDA(电子设计自动化)技术进行产品设计的基本过程。

电子实验技术正面临着一场深刻的实验方法的变革。与传统实验方法比较,采用虚拟方法进行电子电路的分析和设计,可突出实验教学以学生为中心的开放模式,不仅使实验的效率提高,而且在训练学生掌握正确的测量方法,熟练使用各种仪器等方面的能力、电路综合分析能力和创新能力上都有较明显的改善和提高。但虚拟实验并不能替代真实实验,传统实验方法对于训练学生具备电子工程师的“看家本领”是不可或缺的。虚拟实验和真实实验在内容和方法上各具特色。通过虚实结合的实验方法既可培养学生的实验技能,又使学生熟悉了计算机的使用,还可以将虚拟实验结果作为真实实验的理论根据或真实实验结果的参考。本书正是为适应电子实验技术的发展要求而编写的。

1.2 关于电子设计自动化技术

电子产品的设计,其核心是电子电路的设计。根据采用计算机辅助技术的介入程度,可以分为三类。第一类是传统的人工设计方法,从方案的提出到验证和修改均采用人工手段完成,尤其是系统的验证需要经过实际电路搭接和测试来完成。因此这种方法花费大、效率低,制造周期长。第二类借助于计算机来完成数据处理、模拟评价、设计验证等部分工作,由人和计算机共同完成电子系统的设计,这就是早期的电子 CAD 方法。借助于计算机,人们可以设计规模稍大的电子系统,但是由于 CAD 软件的匮乏,设计阶段中的许多工作尚需人工来完成。第三类设计方法称为电子设计自动化(Electronic Design Automation,简称 EDA),电子系统的整个设计过程或大部分设计均由计算机完成。这种设计方法花费少、效率高、周期短、功能强、应用范围广,是当今电子设计的主流手段和发展潮流,是电子设计人员必须掌握的一门技术。

EDA 技术可以实现的任务主要包括:

1. 电路设计

主要指原理电路的设计、PCB 设计、专用集成电路(ASIC)设计、可编程逻辑器件设计和单片机(MCU)的设计。

2. 电路仿真

利用 EDA 系统工具的模拟功能,替代传统电子设计的电路搭试和性能测试,对电路环境(含电路元器件及测试仪器)和电路从激励到响应的全过程进行仿真。电路仿真的基本过程是:当使用者创建一个线路图,并按下电源开关后,就可以从示波器等测试仪器上读到电路中的被测数据。实际上,这个过程是 EDA 软件通过计算使用者所创建的电路数学表达式而求得的数值解。在电路中的每个元器件,都有其特定的数学模型,因此,这些元器件模型的精度决定了电路仿真结果的精度。

EDA 技术不需要真实电路环境的介入,花费少、效率高,结果快捷、准确、形象,这正是许多高校选用电子仿真软件建立电子电路虚拟实验室的原因。

3. 系统分析

利用 EDA 工具能对电路实现绝大部分的电路分析功能如直流和交流工作点分析、瞬态分析、傅里叶分析、噪声分析、失真分析、温度扫描分析、转移函数和极点-零点分析、最坏情况分析以及蒙特卡罗分析等等。

可见,EDA 软件不仅是现代电子工程师必不可少的设计工具,也为院校的课程教学提供了先进的教学手段和方法。将 EDA 软件应用于教学,对提高大专院校学生的综合素质和设计能力提供了很大的帮助。熟练应用 EDA 软件已经成为涉电类专业师生的基本功。

1.3 Multisim 2001 简介

目前 EDA 软件种类繁多,如 Protel、orCAD、Multisim、SystemView、MAXPLUS II、Foundation、ispLSI、ABEL 等等, Multisim 2001 是其中较为突出的优秀软件之一, 在我国的工程技术界和教育界拥有较多用户。它是加拿大 Interactive Image Technologies 公司(简称 IIT 公司) 1988 年推出的 EDA 软件“Electronics Workbench”6.0 以后的版本, 2004 年 IIT 公司已推出最新版本 Multisim 8, 是 2000 年推出的 Multisim 2001 的升级版。针对不同用户需要, Multisim 2001 分为增强专业版(Power Professional)、专业版(Professional)、个人版(Personal)、教育版(Education)、学生版(Student)和演示版(Demo)等, 各版本的功能和价格有着明显的差异。目前我国用户普遍使用的 Multisim 2001 以教育版为主, 功能强大而价格低廉, 因此本书将对 Multisim 2001 教育版进行介绍。

Multisim 2001 与其他电路仿真软件相比, 具有如下优点。

1. 系统高度集成, 界面直观, 操作方便

Multisim 2001 将原理图的创建、电路的测试分析和结果的图表显示等全部集成到同一个电路窗口中。整个操作界面就像一个实验工作台, 有存放仿真元件的元件箱, 有存放测试仪表的仪器库, 还有进行仿真分析的各种操作命令。测试仪表和某些仿真元件的外形与实物非常接近, 操作方法也基本相同, 因而使该软件易学易用。创建电路、选用元器件和测试仪器等均可直接从屏幕上器件库和仪器库中直接选取。测试仪器操作面板与实验室内实际仪器相差无几, 操作起来得心应手。一切电路的分析、设计与仿真工作都形成于轻点鼠标之间, 不仅为电子电路设计者带来了无尽的乐趣, 而且大大提高了电子设计工作的质量与效率。

2. 具有完备的电路分析功能

Multisim 2001 提供了 11 种常用的测试仪器, 能够完成 18 种常用的电路仿真功能, 能基本满足一般电子电路的分析设计要求。此外它还可以对被仿真电路中的元件设置各种虚拟故障, 如开路、短路和不同程度的漏电等, 从而观察到在不同故障情况下的电路工作状态。在进行仿真的同时, 它还可以存储测试点的所有数据, 列出被仿真电路的所有元器件清单, 以及存储测试仪器的的工作状态、显示波形和具体数值等。

3. 使用灵活方便, 功能不断扩展

在 Multisim 2001 中, 与现实元件对应的元件模型相当丰富, 从而增强了仿真电路的实用性; 元件编辑器给用户提供了自行创建或修改所需元件模型的工具; 元件之间的连接方式灵活, 可创建子电路并允许当作一个元器件使用, 从而增大了电路的仿真规模; 提供了多种输入输出接口, 如可以输入由 PSpice 等其他电路仿真软件所创建的 Spice 网表文件, 并自动生成电路原理图。也可以把 Multisim 2001 环境下创建的电路原理图文件输出给 Protel, 专业版的 Multisim 还支持 VHDL 和 Verilog 语言等。IIT 还推出了自己的 PCB 软件

Ultiboard 与 Multisim 配合使用,可以完成电路原理图输入、电路分析、仿真、制作印制电路板全套自动化工序,如果再加上自动布线模块 Ultiroute 和通信电路分析与设计模块 Commsim 等,功能就更加强大。另外,Multisim 2001 提供目前众多通用电路仿真软件所不具备的射频电路仿真功能。

1.4 习题

1. 什么是虚拟实验? 虚拟实验有什么优点? 与真实实验的关系如何?
2. Multisim 2001 属于什么软件? 其主要特点有哪些?
3. 你对 EDA 的含义如何理解? 利用 Multisim 2001 进行电路仿真的基本过程怎样?

第 2 章 Multisim 2001 的基本操作

本章主要介绍 Multisim 2001 的基本界面和基本操作。通过介绍电路的创建及仿真过程,引导读者初步认识 Multisim 2001。

2.1 Multisim 2001 的基本界面

2.1.1 Multisim 2001 的主窗口

运行 Multisim 2001 主程序后,在计算机屏幕上出现 Multisim 2001 的主工作窗口,如图 2-1-1 所示。Multisim 2001 是基于 Windows 的仿真软件,其界面风格与其他 Windows 应用软件基本一致。主要由菜单栏、电路窗口和状态栏等组成,模拟了一个实际的电子工作台。

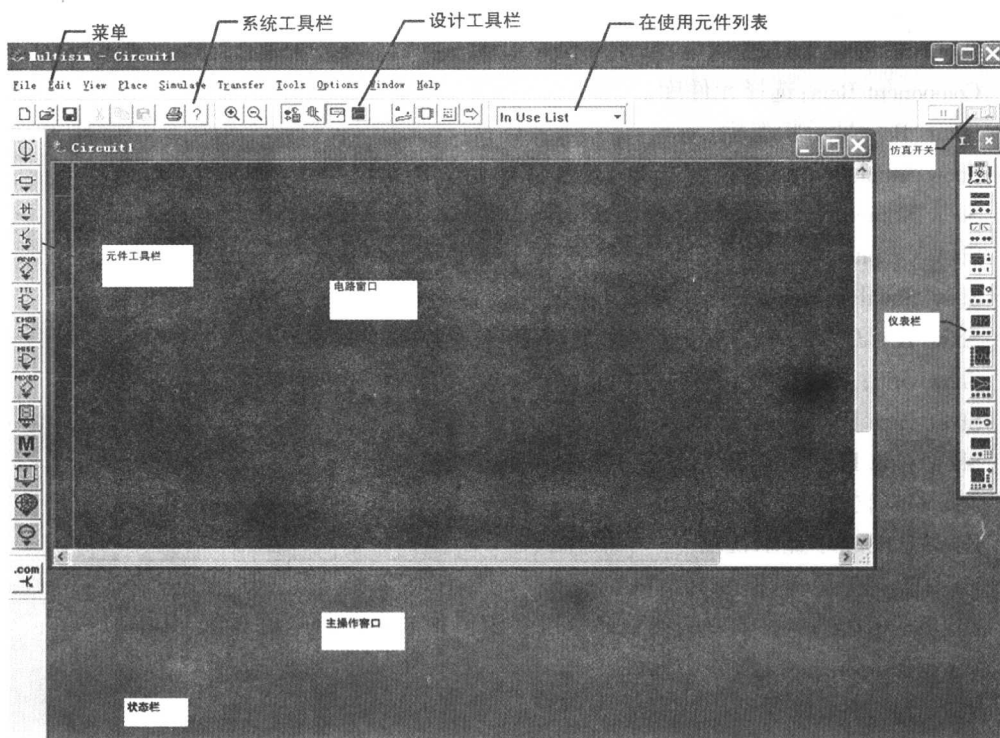


图 2-1-1 Multisim 2001 的主菜单栏

1. 菜单栏(Menu Bar)

Multisim 2001 的菜单栏(Menu)位于主窗口的上方,包含 File, Edit, View, Place, Simulate, Transfer, Tools, Options, Help 共 9 个主菜单。每个主菜单下都有一个下拉菜单。

(1)File:主要用于管理所创建的电路文件,其中包含 Open、New、Save、Print 等与其他 Windows 应用软件相同的基本文件操作命令,另有 Recent Files 和 Recent Projects,使用户可以方便地调出最近使用过的文件和项目。菜单中有关打印的几个选项是 Multisim 2001 特有的。Print Circuit:打印当前工作区的电路原理图,包括 Print(打印),Print Preview(打印预览)和 Print Circuit Setup(打印电路设置)命令。

Print Reports:打印当前工作区内所编辑的电路图元器件或元件库(Database Family List)或元器件的详细资料(Component Detail Report)。

Print Instruments:选择打印当前工作区内的仪表波形图。

(2)Edit:包含一些最基本的编辑操作命令,如 Cut、Copy、Paste、Undo 等命令;元件的位置操作命令,如可以使元件进行旋转和对称操作的 Flip Horizontal, Flip Vertical, 90Clockwise, 90CounterCW 等命令。

(3)View:包括调整窗口视图的命令,用于添加或去除工具条、元件库栏、状态栏,在窗口界面中显示网格,以提高在电路搭接时元件相互的位置准确度;放大或缩小视图的尺寸以及设置各种显示元素等。

Toolbars:选择工具栏。

Component Bars:选择元件库。

Status Bar:显示状态栏。

Show Simulation Error Log/Audit Trail:显示仿真的错误记录/检查仿真踪迹。

Show XSpice Command Line Interface:显示 XSpice 命令行界面。

Show Grapher:显示图表。

Show Simulate Switch:显示仿真开关。

Show Text Description Box:显示文本描述框。

Show Grid:显示栅格。

Show Page Bounds:显示纸张边界。

Show Title Block and Border:显示标题栏和边界。

Zoom In:放大显示视图。

Zoom Out:缩小显示视图。

Find:查找电原理图中的元件。

(4)Place:通过本菜单中的各项命令可在窗口中放置各种电路对象,其中:

Place Component:放置一个元件。

Place Junction:放置一个节点。

Place Bus:放置一根总线。

Place Input/Output:放置一个输入/输出端。

Place Text:放置文本。

Place Text Description Box: 放置一个文本描述框。

Replace Component: 替换元件。

Place as Subcircuit: 放置一个子电路。

Replace by Subcircuit: 用一个子电路替代。

(5) Simulate: 提供仿真所需的各种设备及方法。

Run: 运行仿真开关。

Pause: 暂停电路开关。

Instruments: 提供仿真所需各种仪表。

Analyses (含级联菜单): 给出各种仿真分析方法。

Postprocess: 打开后处理器对话框。

Auto Fault Option: 自动设置电路故障。

Global Component Tolerance: 全局元件容错设置。

(6) Transfer: 用以将所搭电路及分析结果传输给其他应用程序, 如 PCB 和 MathCAD、Excel 等。

Transfer to Ultiboard: 传送到 Ultiboard。

Transfer to other PCB Layout: 传送给其他 PCB 版图软件。

Backannotate from Ultiboard: 从 Ultiboard 返回的注释。

Export Simulation Results to MathCAD: 仿真分析的结果输出到 MathCAD。

Export Simulation Results to Excel: 仿真分析的结果输出到 Excel。

Export Netlist: 输出网表。

(7) Tools: 用于创建、编辑、复制、删除元件, 可管理、更新元件库等。

Create Component: 打开创建元件对话框。

Edit Component: 打开元件编辑对话框。

Copy Component: 打开拷贝元件对话框。

Delete Component: 打开删除元件对话框。

Database Management: 打开元件库管理对话框。

Update Component: 升级元件。

Remote Control/Design Sharing: 远程控制/设计共享。

EDAparts.com: 连接 EDAparts.com 网站。

(8) Options: 可对程序的运行和界面进行设置。

Preferences: 打开参数选择对话框。

Modify Title Block: 修改标题块内容。

Simplified Version: 简化版本。

Global Restrictions: 全局限制设置。

Circuit Restrictions: 电路限制。

(9) Help: 提供帮助文件, 按下键盘上的 F1 键也可获得帮助。

2. 系统工具栏(System Tools)

系统工具栏中基本是与 Windows 应用程序的同类按钮类似的功能按钮,不再赘述。

3. 设计工具栏(Multisim 2001 Design Bar)

设计工具栏是 Multisim 2001 的核心,使用它可进行电路的建立、仿真、分析并最终输出设计数据(虽然菜单栏中也已包含了这些设计功能,但使用设计工具栏进行电路设计将会更方便快捷)。设计工具栏按钮共有 9 个,从左至右分别是:

L₆ 元件(Component)按钮:用以确定存放元器件模型的元件工具栏是否放到电路界面上。

L₇ 元件编辑器(Component Editor)按钮:调整或增加元件。

L₈ 元件(Instruments)按钮:用以给电路添加仪表或观察仿真结果。

L₉ 仿真(Simulate)按钮:用以确定开始、暂停或结束电路仿真。

L₁₀ 分析(Analysis)按钮:选择要进行的分析。

L₁₁ 后处理(Postprocessor)按钮:用以进行对仿真结果的进一步操作。

L₁₂ VHDL/Verilog 按钮:用以使用 VHDL/Verilog 模型进行设计。

L₁₃ 报告(Reports)按钮:打印相关电路的报告。

L₁₄ 传输(Transfer)按钮:与其他程序如 Ultiboard 进行通信,也可将仿真结果输出到像 MathCAD 或 Excel 这样的应用程序。

4. 在用元件列表(In Use List)

列出了当前电路所使用的全部元件,以供检查或重复调用。

5. 仿真开关(Simulate Switch)

用以控制仿真的进程。

6. 元(器)件工具栏(Component Toolbar)

如图 2-1-2 所示。实际上是用户在电路仿真中可以使用的所有元器件符号库,它与 Multisim 2001 的元器件模型库对应,共有 14 个分类库,每个库中放置着同一类型的元件。在取用其中的某一个元器件符号时,实质上是调用了该元器件的数学模型。

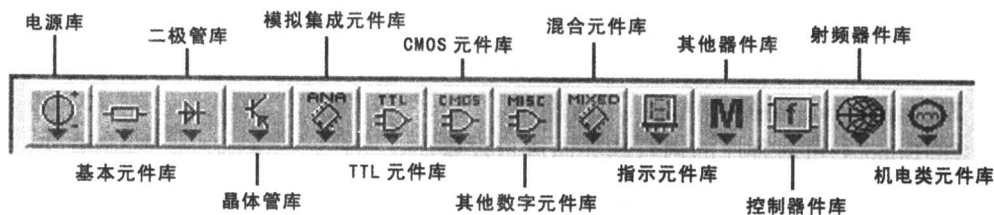


图 2-1-2 元(器)件工具栏

(1) 电源(Source)库:其对应元器件系列(Family)如图 2-1-3 所示。

(2) 基本元件(Basic)库:包含现实元件箱 18 个,虚拟元件箱 7 个,如图 2-1-4 所示。虚拟元件箱中的元件(带绿色衬底者)不需要选择,而是直接调用,然后再通过其属性对话框设置其参数值。不过,在选择元件时还是应该尽量到现实元件箱中去选取,这不仅是因为

选用现实元件能使仿真更接近于现实情况,还因为现实的元件都有元件封装标准,可将仿真后的电路原理图直接转换成 PCB 文件。在选取不到某些参数,或者要进行温度扫描或参数扫描等分析时,就要选用虚拟元件。

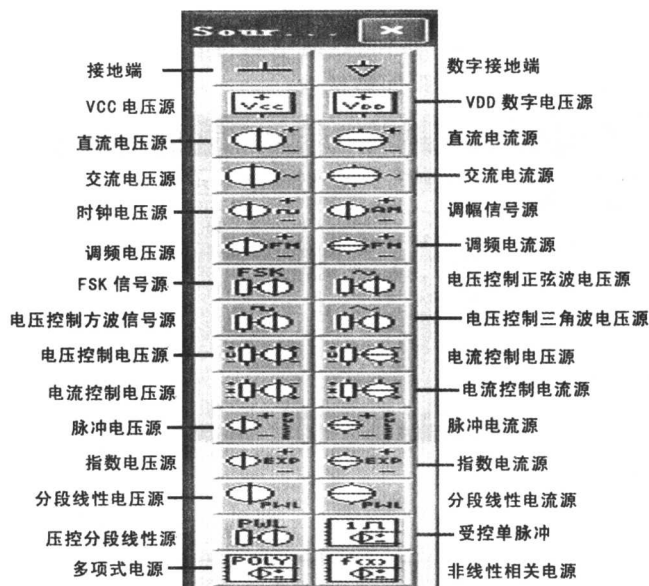


图 2-1-3 电源库

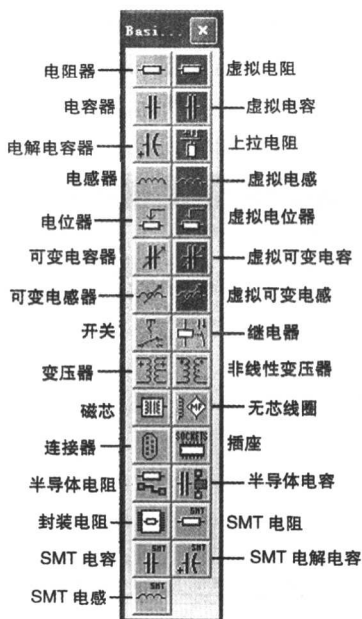


图 2-1-4 基本元件库

基本元件库中的元件均可通过其属性对话框对其参数进行设置。现实元件和虚拟元件选取方式有所不同,下面以电阻元件为例说明。

双击图 2-1-4 中的现实电阻元件图标,可得到图 2-1-5 所示的对话框。其中给出该器件的若干信息,如,名称、符号、制造商、模型层次等。选定左边的元件名称列表中的 1.8 kohm(即 1.8k Ω),单击对话框上的“OK”按钮,这时电阻符号随光标移动,在需要放置该器件的地方单击左键,1.8kohm 的现实电阻即被选取。

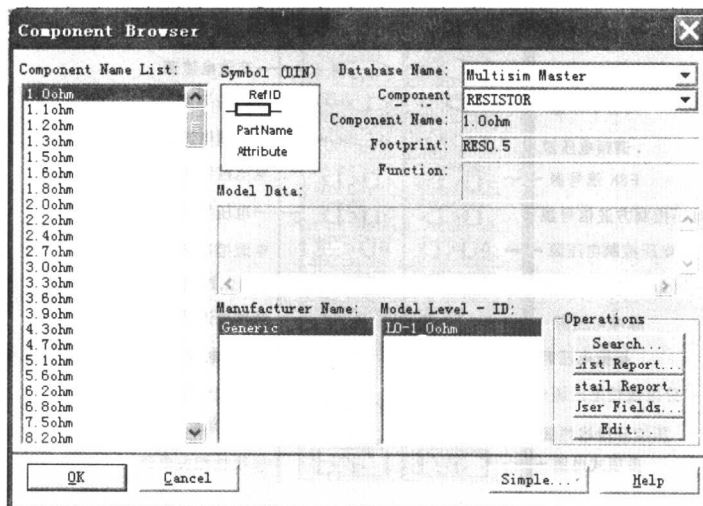


图 2-1-5 电阻元件对话框

如若选取 1.8k Ω 的虚拟电阻,点击绿色衬底的电阻图标,一个电阻符号就随光标带入电路窗口,在需要放置该器件的地方单击左键,即出现 1.8kohm 的虚拟电阻。随后,双击该电阻图标,打开其属性对话框,如图 2-1-6 所示。通过此对话框,不仅可以设置所需的电阻值,还可以设置容差、环境温度、故障和标识等。

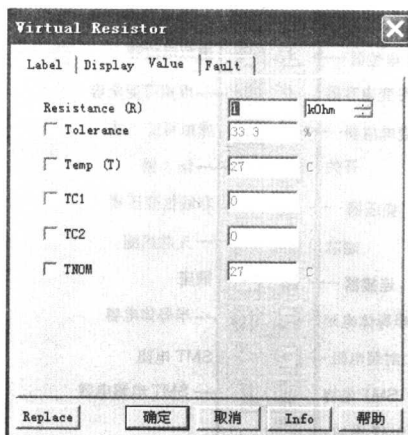


图 2-1-6 虚拟电阻属性对话框

(3) 二极管(Diodes Components)库:包含 10 个元件箱,如图 2-1-7 所示。该图中虽然仅