

21世纪应用型本科系列教材

电子线路EDA仿真技术

杨颂华 初秀琴 张秀芳 沈燕娜 编著
孙肖子 审



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

21世纪应用型本科系列教材

电子线路EDA仿真技术

杨颂华 初秀琴 张秀芳 沈燕娜 编著
孙肖子 审

TN702
Y9



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

· 西安 ·

内容简介

本书共分7章,前5章分别介绍了EDA 仿真技术的基本知识,常用EDA 仿真软件 EWB、Multisim 2001、MAX+plus II 的操作方法和 VHDL 硬件描述语言的基本语法;第6、7章通过大量的设计实例分别介绍了基于 EWB 和基于 MAX+plus II 的仿真设计方法。书中所有的设计实例都经过上机调试,许多实例给出了仿真波形,各章都配有思考题与练习题。本书内容丰富、实践性强,可以作为电子信息类专业的大学本科生、专科生“电子电路虚拟仿真实验”课程的教材使用,也可作为学习“模拟电子技术”、“数字电子技术”课程以及课程设计的辅导参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路 EDA 仿真技术/杨颂华等编著. —西安:西安交通大学出版社,2008.2
(21 世纪应用型本科系列教材)
ISBN 978-7-5605-2648-5

I. 电… II. 杨… III. 电子电路-电路设计:计算机辅助设计-高等学校-教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 200012 号

书 名 电子线路 EDA 仿真技术
编 著 杨颂华 初秀琴 张秀芳 沈燕娜
责任编辑 屈晓燕 贺峰涛

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行部)
(029)82668315 82669096(总编办)
印 刷 陕西丰源印务有限公司

开 本 787mm×1 092mm 1/16 印张 11.75 字数 278 千字
版次印次 2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-2648-5/TN·104
定 价 18.00 元

读者购书、书店添货如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。
订购热线:(029)82665248 (029)82665249
投稿热线:(029)82664954
读者信箱:jdgy31@126.com

版权所有 侵权必究

21 世纪应用型本科系列教材

计算机类教材编委会

主 编：陆丽娜

副 主 编：李学干 张水平

编 委：（以姓氏笔画为序）

刘德安 江小安 张水平 张凤琴

李学干 杨颂华 陆丽娜 鱼 滨

高 涛 雷震甲

策划编辑：屈晓燕 贺峰涛

前言

随着电子技术和计算机技术的飞速发展,现代电子系统的设计已经进入了电子设计自动化(EDA)的时代,采用虚拟仿真手段对电子系统和电子产品进行前期工作的调试,已成为电子技术发展的必然趋势,掌握 EDA 技术也成为当前电子工程设计人员必备的工作技能。

当前许多高校已开设了 EDA 技术的相关课程,电子线路是电子信息类专业重要的技术基础课,也是工程实践性很强的课程,但由于概念多,元器件、电路种类多,内容繁杂,学生往往感到难学。因此,在电子线路课程教学中,如何利用 EDA 仿真技术化解课程的难点,提高课程的教学质量,使学生既能掌握好电子线路课程的基本理论和实践技能,又能掌握 EDA 技术的基本工具及基本设计方法,是从事电子线路和 EDA 技术课程教学老师值得思考的问题。我们在多年实践教学的基础上,将“模拟电子技术”、“数字电子技术”课程中的典型单元电路、综合应用实例与 EDA 仿真实验及分析等内容进行了优化、整合,编写了《电子线路 EDA 仿真技术》这本教材,主要目的是希望通过一系列的仿真实例,使学生在理论学习中感到困难的问题逐步得到解决,并将 EDA 技术变成若干个循序渐进的台阶,使初学电子线路课程的同学首先掌握最基本的 EDA 仿真工具,通过由浅入深的仿真实例逐步加深对电子电路与系统设计方法的理解,从而提高分析问题、解决问题的能力,为下一步学习可编程逻辑器件(PLD)及专用集成电路设计等打下基础。

本书共分 7 章,第 1 章对 EDA 仿真技术作了综述。第 2 章介绍了电子工作台 EWB 软件及操作方法。第 3 章介绍了 Multisim2001 软件及操作方法。第 4 章介绍了 MAX+plus II 软件及操作方法。第 5 章介绍了 VHDL 硬件描述语言。第 6 章通过“模拟电子技术”和“数字电子技术”的设计实例介绍了 EWB 环境下的仿真设计方法。第 7 章通过数字电路与系统的设计实例介绍了 MAX+plus II 环境下的仿真设计方法。书中所有的设计实例都经过上机调试,许多实例给出了仿真波形。本书可以作为电子信息类专业本科生或大专生“电子电路虚拟仿真实验”课程的教材使用,也可作为学习“模拟电子技术”、“数字电子技术”课程以及课程设计的辅导参考资料。

本书第 1、第 6 章(6.2 节)由杨颂华编写,第 4、5、7 章由初秀琴编写,第 2 章、第 6 章(6.1 节)由沈燕娜编写,第 3 章、第 6 章(6.3 节)由张秀芳编写,全书由杨颂华修改、定稿。在编写过程中江小安老师给予了大力支持和帮助,西安电子科技大学孙肖子教授在百忙中审阅了全稿并提出了十分宝贵的建议和修改意见,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平和时间有限,书中错误与疏漏之处在所难免,敬请同行及广大读者批评指正。

编者

2007 年 9 月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 电子电路设计与 EDA 仿真技术	(1)
1.2 常用的 EDA 仿真软件	(2)
1.2.1 电路设计与仿真软件	(2)
1.2.2 PCB 设计软件	(3)
1.2.3 PLD 设计软件	(4)
第2章 Electronics Workbench (EWB)简介	(5)
2.1 EWB 的基本界面	(5)
2.1.1 EWB 的主窗口及工具栏	(5)
2.1.2 EWB 的元器件库及仪器库	(6)
2.2 EWB 的基本操作	(15)
2.2.1 原理图的绘制	(15)
2.2.2 电路仿真	(16)
2.2.3 子电路的创建	(17)
2.3 EWB 的电路分析功能	(19)
2.3.1 直流工作点分析	(19)
2.3.2 交流频率分析	(20)
2.3.3 瞬态分析	(22)
第3章 Multisim2001 简介	(25)
3.1 Multisim 2001 的主窗口及工具栏	(25)
3.2 Multisim 2001 的元器件库及仪器库	(26)
3.2.1 元器件库	(26)
3.2.2 仪器库	(31)
3.3 Multisim 2001 的基本操作	(36)
3.3.1 工作环境的设置	(36)
3.3.2 电路连接、元件参数选择	(37)
3.4 Multisim 2001 的分析功能	(40)
第4章 MAX+plus II 设计简介	(42)
4.1 MAX+plus II 设计流程	(42)
4.1.1 设计输入	(42)

4.1.2	设计编译	(43)
4.1.3	设计校验	(43)
4.1.4	器件编程	(43)
4.2	原理图设计输入	(44)
4.2.1	建立原理图设计文件	(44)
4.2.2	原理图设计文件的编译	(48)
4.2.3	原理图设计文件的仿真	(49)
4.2.4	建立默认的逻辑符号	(53)
4.3	文本设计输入	(54)
4.4	层次化设计输入	(57)
第5章	VHDL 硬件描述语言简介	(60)
5.1	VHDL 概述	(60)
5.2	VHDL 的基本结构	(61)
5.2.1	实体	(61)
5.2.2	结构体	(62)
5.2.3	配置	(63)
5.2.4	库和程序包	(63)
5.3	数据对象和数据类型	(64)
5.3.1	数据对象	(64)
5.3.2	数据类型	(65)
5.4	VHDL 的描述方法	(66)
5.5	VHDL 语言描述实例	(67)
5.5.1	组合电路的描述	(67)
5.5.2	时序电路的描述	(69)
第6章	基于 EWB 的虚拟实验与仿真	(78)
6.1	模拟电路虚拟实验与仿真	(78)
6.1.1	二极管的应用	(78)
6.1.2	基本放大器的分析和设计	(81)
6.1.3	放大器的频率特性	(85)
6.1.4	负反馈放大器的分析	(88)
6.1.5	集成运算放大器的线性应用	(91)
6.1.6	集成运算放大器的非线性应用	(95)
6.1.7	波形发生与变换电路	(97)
6.1.8	直流稳压电源	(102)
6.2	数字电路虚拟实验与仿真	(105)
6.2.1	组合电路的分析与设计	(105)
6.2.2	变量译码器、显示译码器、数据选择器	(108)

6.2.3	触发器及应用	(113)
6.2.4	计数器及应用	(117)
6.2.5	移位寄存器及应用	(125)
6.2.6	555 定时器应用	(127)
6.3	综合设计实例	(130)
6.3.1	序列码发生器	(130)
6.3.2	阶梯波发生器	(132)
6.3.3	数字钟	(133)
第7章	基于 MAX+plus II 的数字电路设计与仿真	(138)
7.1	组合逻辑电路的设计	(138)
7.1.1	加法与减法电路	(138)
7.1.2	多地址译码器、字段译码器、数据选择器	(141)
7.1.3	三态门电路	(145)
7.1.4	总线缓冲器	(146)
7.2	时序逻辑电路的设计	(147)
7.2.1	二进制计数器和十进制计数器	(147)
7.2.2	分频器	(153)
7.2.3	计数器应用	(155)
7.2.4	序列码发生器	(157)
7.2.5	移位寄存器的应用	(158)
7.3	数字系统设计实例	(159)
7.3.1	交通信号控制系统	(159)
7.3.2	简易数字频率计	(165)
7.3.3	函数信号发生器	(170)
7.3.4	电子琴	(173)

第1章 绪论

1.1 电子电路设计与 EDA 仿真技术

电子电路设计通常包括方案论证、单元电路设计、装调电路、修改设计等环节,其一般设计过程如图 1-1 所示。

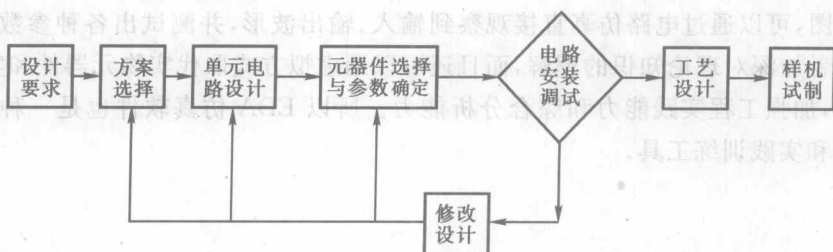


图 1.1 电子电路一般设计过程

在整个设计过程中电路的安装、调试和修改设计是非常重要的阶段,它既是对理论设计的验证过程,也是对电路设计是否正确以及性能指标是否达到要求的检测过程。采用传统设计方法时,这种验证工作通常是按照理论设计的电路图,首先在面包板或 PCB 板上进行电路安装,然后再用电源、信号源、示波器等各种电子测量仪器进行测试、验证、调试和修改。传统设计方法最大的缺点是电路板的制作与反复修改、调试的过程周期长,既费时又费力,而且还损失材料,因此它只适用于小型电子电路的设计,对于电路规模大、复杂程度高、所用元器件多的电路是不适应的。

随着计算机技术和半导体集成技术的迅速发展,电子电路及系统的设计方法和设计手段都发生了很大的变化,特别是 20 世纪 90 年代以后,电子设计自动化(EDA, Electronic Design Automation)技术和可编程逻辑元件 CPLD/FPGA 的发展和普及,使电子电路与系统的设计发生了革命性的变化。现代电子系统的设计方法是以可编程逻辑器件为基片,采用 EDA 技术对芯片进行设计来实现电路和系统的功能,这种“基于芯片”的设计方法可以将原来在电路板上完成的工作通过计算机来完成。设计者不仅可以利用计算机进行原理电路的设计,还可以通过计算机仿真对所设计的电路进行功能测试、验证、修改等工作。由此可见,现代电子设计方法减轻了电路设计的工作量和难度,缩短了电路调试和修改的周期,大大提高了工作效率。

电子设计自动化 EDA 技术是在 CAD(计算机辅助设计)、CAM(计算机辅助制造)、CAT(计算机辅助测试)、CAE(计算机辅助设计工程)的基础上发展起来的一门综合技术。它是计算机为工具,通过 EDA 软件平台对电子电路、电子系统或芯片进行自动化设计与开发的先进技术。

电子电路仿真是指计算机将电路模块或系统用数学模型表示,并通过软件对此模型进行功能模拟、性能分析和参数测试,用以帮助设计者验证电路是否符合预期的设计效果。

通常 EDA 仿真工具中都有丰富的元器件库,设计者只要调用仿真元件,输入原理图设计文件或采用硬件描述语言输入设计文件,仿真软件即会自动建立仿真模型,生成网络表等相应的文件,并且根据选用的分析类型以波形图、曲线图或数据列表等方式显示出相应的仿真结果。采用 EDA 仿真工具设计电子电路要比传统的设计方法方便、快捷得多,因而掌握 EDA 仿真技术正在成为电子设计技术人员必备的基本技能。

EDA 仿真技术在电子产品的设计、开发和生产、制造中发挥了重要的作用。它不仅可以帮助设计者分析电路的性能,实现电路的优化设计并验证设计方案的正确性,也可以在生产制造中用于生产流水线的产品性能测试,产品开发的系统级模拟和测试环境的模拟。EDA 仿真技术在电子工程设计和电子类课程教学中也得到了广泛的应用,在教学中采用 EDA 仿真工具输入原理图,可以通过电路仿真直接观察到输入、输出波形,并测试出各种参数。这不仅可以帮助初学者加深对理论知识的理解,而且还可以用虚拟方式取代实物元器件和实验仪器,提高实验效率,加强工程实践能力和综合分析能力。所以 EDA 仿真软件也是一种非常好的辅助教学工具和实践训练工具。

1.2 常用的 EDA 仿真软件

目前 EDA 技术的应用越来越广泛,EDA 软件工具按照其主要功能和应用场合不同可分为电路设计与仿真软件、PCB 设计软件、IC(集成电路)设计软件、PLD(可编程逻辑器件)设计软件和其他 EDA 软件,下面介绍几种常用的仿真软件。

1.2.1 电路设计与仿真软件

电路设计与仿真软件主要有 Spice/PSpice、EWB、Matlab、SystemView 等。

1. Spice(Simulation Program With Integrate Circuit Emphasis)

Spice 是美国加州大学伯克莱分校于 1972 年推出的电路仿真程序,随后其版本不断更新,功能不断增强和完善,1988 年被定为美国国家工业标准。1984 年美国 MicroSim 公司推出基于 Spice 的微机版 PSpice(Personal-Spice)。目前国内普遍使用的是 PSpice 6.2。最新推出 PSpice 9.1 版本,可以进行各种各样的电路仿真、激励建立、温度与噪声分析、波形输出等,并在同一窗口同时显示模拟与数字的仿真结果。

2. EWB(Electronic Workbench)

EWB 是加拿大 Interactive Image Technologies 公司于 1988 年推出的电路仿真软件,其

分析方法和元器件库都是在 Spice 基础上建立起来的。Multisim2001、Multisim7、Multisim8 均是 EWB 的升级版。EWB 是个小巧的软件(只有 16M),可以进行模拟电路和数字电路的混合仿真。它除了有丰富的元器件库之外,还有一个独特的仪器仪表库,设计者可以利用电子工作台像在实验室一样进行各种虚拟实验。同时由于它的人机界面形象、直观、操作方便,初学者容易上手,因此已得到普遍应用。

Multisim2001 继承了 EWB 的诸多优点,并在元器件、测试仪器和仿真分析的数量和功能上都有很大改进。它提供了射频电路仿真功能,还提供了多种输入、输出接口。它可以接受由 PSpice 等其他电路仿真软件创建的网表文件,并自动形成相应的电路原理图,也可以把 Multisim 环境下创建的电路原理图文件输出给 Protel 等常见的 PCB 软件进行印刷电路设计。Multisim2001 有增强专业版(Power Professional)、专业版(Professional)、个人版(Personal)、教育版(Education)、学生版(Student)和演示版(Demo)等。目前广泛应用的是教育版。

Multisim7 于 2003 年推出。相对于 Multisim2001 来说,它增添了 1000 个元件模型,新增了与实际安捷伦仪器相同的虚拟仪器;增加了四通道示波器和频率计数器;增添了对二极管、三极管、MOS 管等非线性元件进行伏安特性分析的功能,还增添了总线连接器、滤波器、555 定时器设计向导等,并改进了层次设计和多页平面设计功能。

Multisim8 除了保持 Multisim7 的优点将最新安捷伦测试仪器引入仪器库外,其操作更为方便和具有真实感,同时还向用户提供了配套印制版 PCB 软件 Ultiboard8,用 Multisim8 进行仿真设计的电子电路可以直接无缝连接到 Ultiboard8 进行印制电路板设计。

3. Matlab

Matlab 是一种科学计算软件,专门以矩阵的形式处理数据。它有许多面向具体应用的工具箱和仿真块,并提供了大量的内置函数,因而被广泛应用于科学计算、控制系统、数字信号处理、图象处理等领域。Matlab 产品族具有下列功能:数据分析、数值和符号计算、工程与科学绘图、控制系统的设计与仿真、数字图像信号处理、财务工程、建模、图形用户界面的设计等。用户可以利用 Matlab 产品的开放式结构,对其功能进行扩充。

1.2.2 PCB 设计软件

印制电路板 PCB(Printed-Circuit Board)软件工具主要有 Protel、orCAD、PowerPCB 等,可用于电路原理图绘制,模电、数电混合电路仿真和多层印制电路板的设计。

Protel 是 PROTEL(现为 Altium)公司于 20 世纪 80 年代末推出的 CAD 工具。它是 PCB 设计者的首选软件,在国内已经普遍使用。早期的 Protel 主要作为印制板自动布线使用,运行在 DOS 环境,功能较少。目前普遍使用的 Protel99SE 和 ProtelDXP,二者都是一个完整的全方位电路设计系统,包含了电路原理图绘制、模拟电路和数字电路混合信号仿真、多层印制电路板设计(含印制板自动布局布线)、可编程逻辑器件设计、图表生成、电路表格生成、支持宏操作等功能,还兼有一些其他设计软件的文件格式如 orCAD、PSpice、Excel 等。Protel 软件功能强大、界面友好、使用方便,但它最有代表性的还是电路设计和 PCB 设计。

orCAD 是由 orCAD 公司于 20 世纪 80 年代末推出的 EDA 软件。相对其他软件而言,它的功能最强大,orCAD 公司与 CADENCE 公司合作后,已成为世界上最强大的 EDA 软件开发公司,其产品不仅集成了电路原理图绘制、印制电路板设计、模拟和数字电混合仿真等功能,还收入了几乎所有通用型电子元器件模块,因而售价不菲。

1.2.3 PLD 设计软件

可编程逻辑器件 PLD(Programmable Logic Device)是一种半定制集成电路,用户可通过对器件编程实现所需要的逻辑功能。目前广泛使用的数字可编程逻辑器件主要有 CPLD(Complex PLD)和 FPGA(Field Programmable Gate Array)两大类,设计者可以利用 EDA 开发工具通过原理图输入法或硬件描述语言在 PLD 芯片上设计出所需要的数字系统,同时还可以通过 PLD 仿真软件验证系统设计的正确性。

PLD 的生产厂家很多,目前具有代表性的 PLD 器件厂商提供的 PLD 开发软件主要有以下几种

① Altera 公司的 MAX+plus II 和 Quartus II。MAX+plus II 主要支持 Classic 系列、MAX 系列、FLEX 系列和 ACEX1K 系列的 PLD 器件开发。Quartus II 还支持 APEX 系列、Cyclone 系列、Stratix 系列和 Excalibar 等新型系列的开发。

② Xilinx 公司是 FPGA 的发明者,其开发的软件为 Foundation 和 ISE,主要支持 XC9500/400、Coolrunner 等系列器件。

③ Lattice-Vantis 是 ISP(In-System Programmability)技术的发明者,其开发软件为 isp System 和 ispEXPERT System。主要产品有 ispLSI2000/5000/8000、MACH4/5。

以上所有的 CPLD/FPGA 开发软件都有门级仿真器,可以对输入的设计文件进行功能仿真和时序仿真,并产生精确的仿真结果。例如,对于竞争冒险和时间延迟等功能在时序波形图中都能清楚地显示出来。因此这些开发软件不仅可以用来开发编程器件,也可以用作电子电路设计的仿真工具。

本书主要介绍 EWB、Multisim2001、MAX+plus II 几种常用的 EDA 仿真工具和 VHDL 硬件描述语言,同时给出较多的仿真实例,主要目的是让学生学会使用基本的 EDA 工具进行电子电路的仿真分析并从事简单的系统设计,以便为今后的工作打下基础。

第2章 Electronics Workbench(EWB)简介

Electronics Workbench(简称 EWB)是加拿大 Interactive Image Technologies 公司 1988 年推出的专门用于电子电路仿真、设计的“虚拟电子工作台”软件。它有一个与实验室十分相似的元器件和仪器库,而且界面形象直观、操作简便,非常适合电子技术课程的辅助教学。对于初学电子技术课程的学生来说,采用 EWB 软件可以针对多种不同的目的(验证、测试、设计、调试、创新等)进行各种训练,加深对所学理论知识的理解,并熟悉基本仪器的功能和使用,提高实验效率。

2.1 EWB 的基本界面

2.1.1 EWB 的主窗口及工具栏

EWB 的主窗口由菜单栏、工具栏、元件栏以及电子工作台组成,如图 2.1 所示。

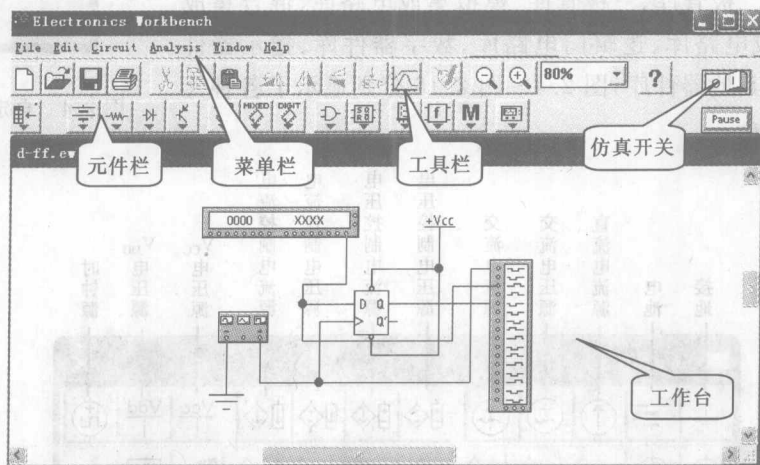


图 2.1 EWB 的主窗口

从图中可以看到,EWB 的主窗口与 Windows 的基本界面相似,用鼠标操作就可以方便地完成电路的连接和测试。EWB 的工具栏及各按钮功能如图 2.2 所示。

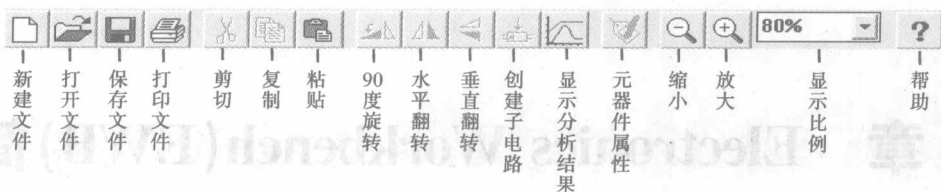


图 2.2 EWB 的工具栏

2.1.2 EWB 的元器件库及仪器库

EWB 常用的元器件及仪器库栏(简称元件栏)如图 2.3 所示,用鼠标左键单击元件栏中的某一个图标即可打开该元件库。



图 2.3 元件栏

1. EWB 的元器件库

EWB 有 13 个元器件库,它们分别是:自定义器件库、信号源库、基本器件库、二极管库、三极管库、模拟集成电路库、混合集成电路库、数字集成电路库、逻辑门电路库、数字器件库、指示器件库、控制器件库、其他器件库,图 2.4~图 2.16 分别显示了各种元件库及图标的名。



图 2.4 自定义器件库

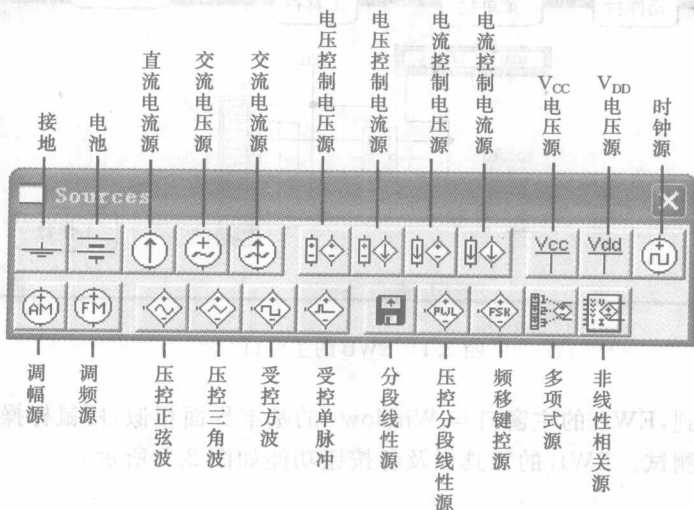


图 2.5 信号源库

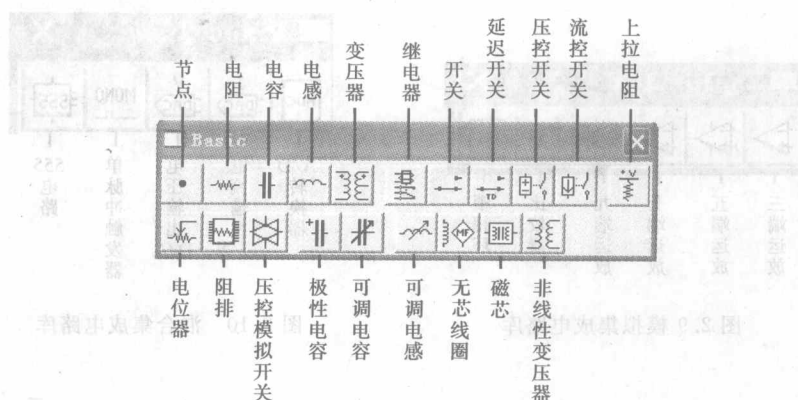


图 2.6 基本器件库

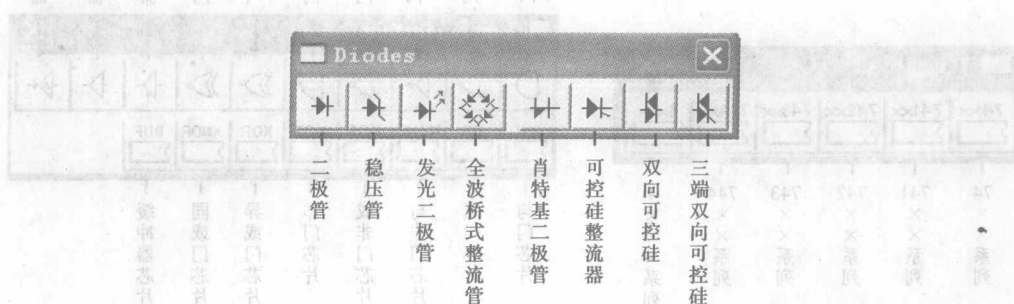


图 2.7 二极管库

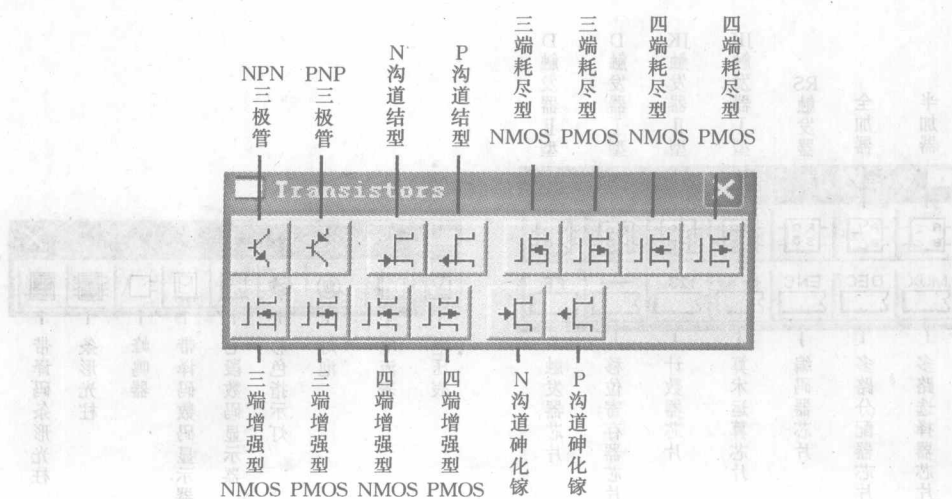


图 2.8 三极管库

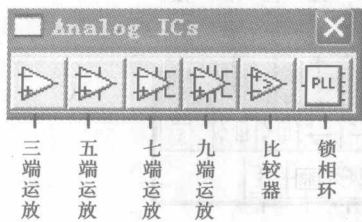


图 2.9 模拟集成电路库

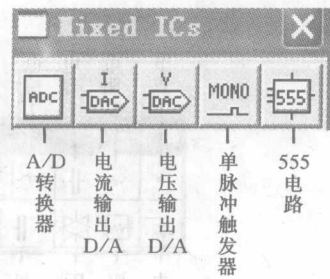


图 2.10 混合集成电路库

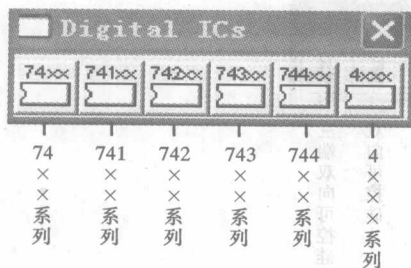


图 2.11 数字集成电路库

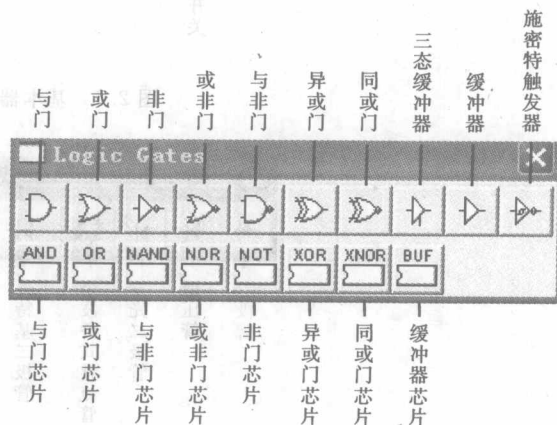


图 2.12 逻辑门电路库

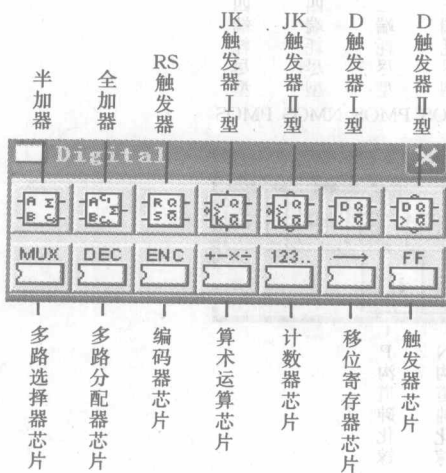


图 2.13 数字器件库

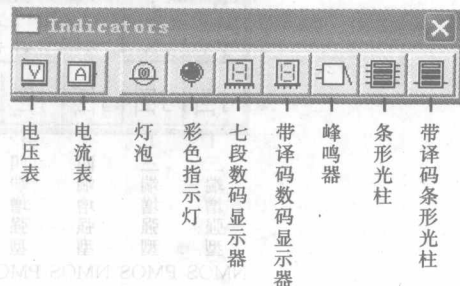


图 2.14 指示器件库

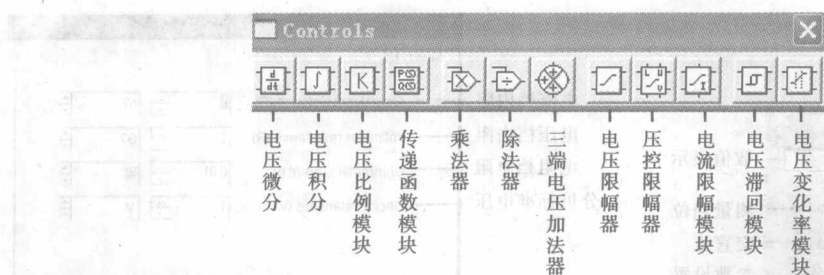


图 2.15 控制器件库

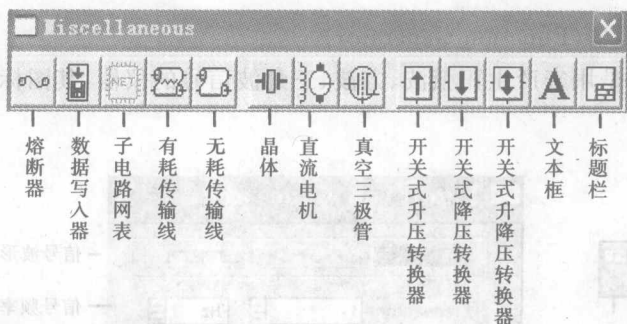


图 2.16 其他器件库

2. EWB 的仪器库

EWB 的仪器库(Instruments)中共有 7 种虚拟仪器,它们分别是:数字万用表(Multimeter)、函数信号发生器(Function Generator)、示波器(Oscilloscope)、波特图仪(Bode Plotter)、字信号发生器(Word Generator)、逻辑分析仪(Logic Analyzer)、逻辑转换仪(Logic Converter),各种仪器的图标如图 2.17 所示,每种只有一台。使用时用鼠标点击元件栏中的仪器图标,就可以将仪器弹出仪器库,然后拖曳仪器的图标至工作台,并对该图标快速双击就可以得到该仪器的面板。



图 2.17 仪器库

(1) 数字万用表(Multimeter)

数字万用表相当于实验室里使用的数字万用表,其图标和面板如图 2.18 所示,它能自动调整量程,并能够完成交直流电压、电流和电阻的测量与显示。点击数字万表面板中的“Setting”(参数设置)按钮,则弹出如图 2.19 所示的对话框,从中可以对数字万用表内部的参数进行设置。