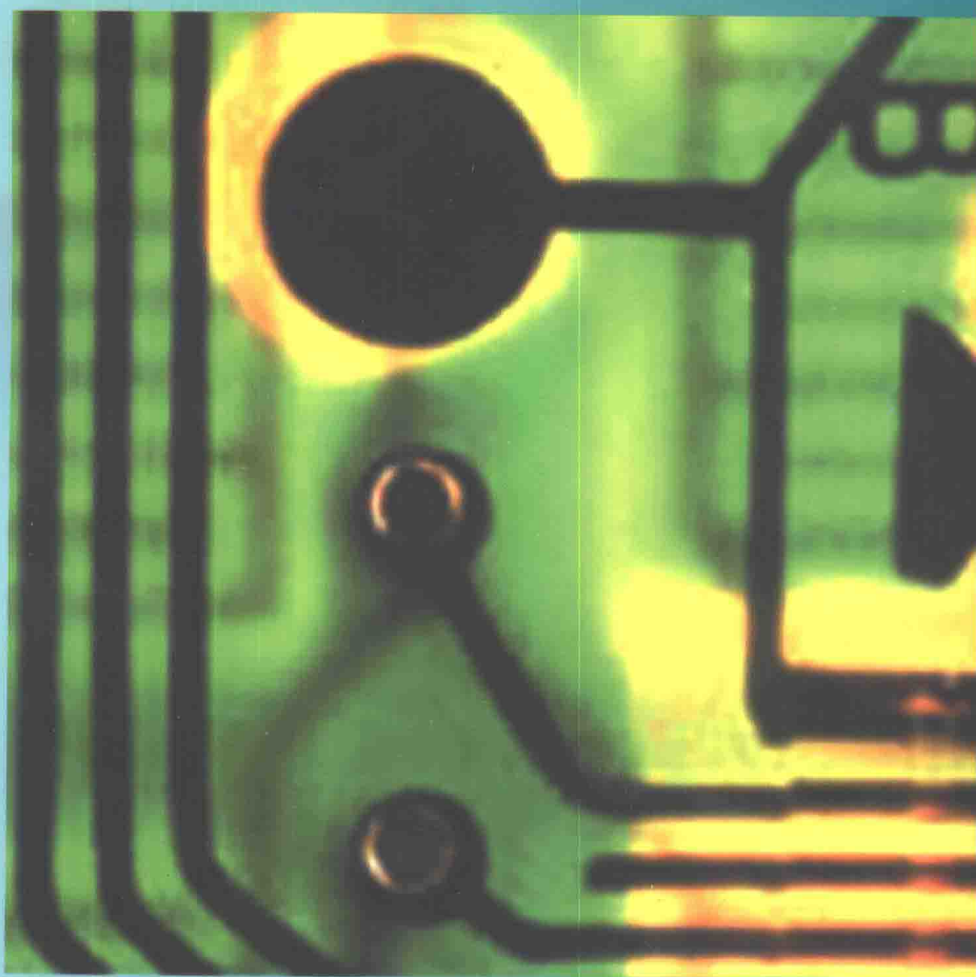


电路仿真与实验

主编 王丽敏 邓舒勇

DIANLU FANGZHEN YU SHIYAN



哈尔滨工程大学出版社



哈尔滨工程大学
国家工科基础课程教学基地
电工电子类系列教材

电路仿真与实验

主编 王丽敏 邓舒勇
主审 付永庆

哈尔滨工程大学出版社

内 容 提 要

本书可与《电路基础》、《网络分析导论》配套使用。本书沿着先软件仿真后硬件实验的主线撰写,力图建立一种全新的电路实验体系,并把培养学生使用 EDA 仿真工具的能力也作为一种新的培养目标来考虑。全书共分三个部分。第一部分(1~3 章)介绍仿真工具及仿真实验;第二部分(4~8 章)介绍基本仪器组和真实实验;第三部分(9 章)是电路仿真与实验练习题。

本书内容丰富、叙述深入浅出,可作为高等院校电类各专业本科生的实验课教材,也可作为工程技术人员的自学参考书。

电路仿真与实验

主编 王丽敏 邓舒勇

责任编辑 朱春元

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南通大街145号 哈工程大学11号楼

发行部电话(0451)2519328 邮编:150001

新华书店经销

肇东粮食印刷厂印刷

*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 15.5 字数 365 千字

2000 年 10 月第 1 版 2000 年 10 月第 1 次印刷

印数:5 000 册

ISBN 7-81073-078-9
TN·2 定价:20.00 元

前 言

随着电子计算机的迅猛发展,计算机技术已深入人类生活的各个领域,电子类技术基础课的实验教学也将顺应日新月异的电子信息技术的发展势头,进行深刻的改革。

该教材改革了传统的建立在实验物理学基础上的重硬件验证的实验模式,强调理论指导下的实验技能的培养,采取先理论与虚幻真实的仿真验证,用快捷有效的工具加快学生对理论结果的认知理解能力,然后再从虚幻走入真实的领域,让学生扎实掌握实验所用仪器组及其组织实验的能力,之后放手让学生在开放的环境中实验,以培养学生独立自主的解决实际问题的能力。

本书由王丽敏、邓舒勇主编,付永庆主审。付永庆对本书进行了认真审阅,并提出了许多中肯而宝贵的意见,在此对他表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,不当之处恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 电路软件仿真实验的基本概念	1
第2章 电路实验软件仿真工具	3
2.1 Electronics Workbench 5.0 软件安装	3
2.2 EWB 的基本界面	4
2.3 EWB 的基本操作方法	12
2.4 基本分析方法	27
2.5 电路元器件库	35
第3章 电路软件仿真实验	46
3.1 直流电路	46
3.2 RLC 串联谐振电路	48
3.3 瞬态响应	49
3.4 网络相频特性	53
第4章 从虚幻走向真实的基础——测量误差问题	57
4.1 测量误差的概述	57
4.2 一次测量时误差的估计	60
4.3 测量数据的处理	62
第5章 电路实验的常用基本电子仪器及原理	65
5.1 万用表	65
5.2 电子电压表	71
5.3 瓦特表	73
5.4 直流稳压电源	75
5.5 信号发生器	77
5.6 示波器	80
5.7 频率特性测试仪	99
第6章 电子测量基础	106
6.1 电路元器件基础知识	106
6.2 电路元器件的测量	112
6.3 电压的测量	126
6.4 网络的频域测量	132
6.5 网络的时域测量	134
第7章 真实电路实验	140
7.1 网络基本定理	140
7.2 日光灯电路及功率因数的提高	146
7.3 一阶电路的响应	149

第 8 章	电路实验数据的整理与报告撰写方法.....	154
第 9 章	电路仿真与实验练习题目清单.....	156
9.1	电路软件仿真实验	156
9.2	真实电路实验	180

第 1 章 电路软件仿真实验的基本概念

电子计算机的出现和发展是现代科学技术的巨大成就之一。随着电子计算机技术的迅猛发展,计算机技术已深入人类经济生活的各个领域,在世界范围内开创了一门崭新的研究和应用计算机辅助设计技术 CAD(Computer Aided Design)。CAD 技术的应用与发展,引发了一场工具设计与制造领域的革命。

电子系统的设计,根据采用计算机辅助技术的介入程度,可以分为 3 类:第一类是人工设计方法,这是一种传统的设计方法,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搭试电路来完成。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。目前 EDA 软件种类繁多,下面介绍的 Workbench 5.0 版就是其中的一种。

从事电子产品设计、开发等工作的人员,经常要求对所设计的电路进行实物模拟和调试。其目的,一方面是为了验证所设计的电路是否能达到设计要求的技术指标,另一方面,通过改变电路中元器件的参数,使整个电路性能达到最佳值。以往的电路设计模拟,常常是制作一块模拟试验板,在这块板上用实际元器件进行试验和调试。取得数据后,再来修正原设计的电路参数,直至达到设计提出的要求。但由于受工作场地、仪器设备和元器件品种、数量的限制,有些试验往往无法及时完成。这样既影响工作的顺利进行,又束缚了设计人员的手脚。为了克服上述困难,加拿大 Interactive Image Technologies 公司于 80 年代末、90 年代初推出了专门用于电子线路仿真的“虚拟电子工作台”(Electronics Workbench)软件,它可将上述不同类型的电路组合成混合电路进行仿真。目前已在电子工程设计、电子类课程教学等领域得到了广泛的应用。

Electronics Workbench 具有界面直观、操作方便等优点,它改变了有些电路仿真软件输入电路采用文本方式的不便之处,创建电路、选用元器件和测试仪器等均可以直接从屏幕图形中选取,而且测试仪器的操作开关、按键、图形同实际仪器极为相似。通过电路仿真,可以帮助学生更快、更好地掌握课堂讲述的内容,熟悉常用电子仪器的测量方法,掌握电路的性能。进一步培养学生的综合分析能力、排除故障能力和开发、创新能力。

Electronics Workbench 的元器件库不仅提供了数千种电路元器件供选用,而且还提供了各种元器件的理想值,因此,仿真的结果就是该电路的理论值,这对于验证电路的原理和电子类课程的教学与实验而言是极为方便的。同时也可以新建或扩充已有的元器件库,而且建库所需的元器件参数可从生产厂商的产品使用手册中查到。因此大大方便了使用人员。

作为虚拟的电子工作台,Electronics Workbench 提供了较为详细的电路分析手段,不仅

可以完成电路的瞬态分析和稳态分析、时域和频域分析、器件的线性和非线性分析、电路的噪声分析和失真分析等常规电路分析方法,而且还提供了离散付里叶分析、电路零极点分析、交直流灵敏度分析和电路容差分析等分析方法,以帮助设计人员分析电路的性能。此外它还可以对被仿真电路中的元件设置各种故障,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况。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。该软件创建电路图所需的元器件库与目前常见的电子线路分析软件如“SPICE”的元器件库是完全兼容的。同时在该软件下完成的电路文件,可以直接输出至常见的印制线路板排板软件,如 PROTEL、ORCAD 和 TANGO 等软件,自动排出印制电路板,从而大大加快了产品的开发速度,提高了设计人员的工作效率。

电子工作台(EWB)可以对电路进行性能仿真和分析,电路仿真的基本原理是:其分析方法和元器件库的模型均建筑在 SPICE 程序(SPICE3F5)的基础上,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得电路中的被测数据。实际上,这个过程是该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,都有其设定的数学模型,因此,这些元器件模型的精度,就决定了电路仿真结果的精度。

采用虚拟电子工作台,即通过计算机软件仿真的方法,对电子线路进行模拟运行,其整个过程可分成四个步骤:数据输入、参数设置、电路分析和数据输出。

数据输入:将用户创建的电路图结构、元器件数据读入,选择分析方法。

参数设置:程序会检查输入数据的结构和性质,以及电路中阐述的内容,对参数进行设置。

电路分析:对输入信号进行分析,它将占据 CPU 工作的大部分时间,是电路进行仿真和分析的关键。它将形成电路的数值解,并将所得数据送至输出级。

数据输出:从测试仪器如示波器等上获得仿真运行的结果。也可以从“分析”栏中的“分析显示图”(Analysis Graph)中看到测量、分析的波形图。

第2章 电路实验软件仿真工具

2.1 Electronics Workbench 5.0 软件安装

1. Electronics Workbench 5.0 系统安装运行要求

(1) 安装 Electronics Workbench 5.0 至硬盘约占 17MB 的空间。(指 EWB 专业版软件)

(2) 当运行在 Microsoft Windows 3.1/3.11/95(中、英文)操作系统时要求:

486 以上微机

MS-DOS 3.0 或以上

与之兼容的鼠标器

8MB RAM(推荐 16 MB RAM)

(3) 当运行在 Microsoft Windows NT 操作系统下时要求:

MS-DOS 3.0 或以上

与之兼容的鼠标器

12MB RAM(推荐 16MB RAM)

程序运行时,将建立临时性文件,该文件占硬盘空间的缺省规模大小是 20MB,当文件达到其最大限度的规模时,可以选择:

① 停止仿真;

② 放弃已有的数据,继续进行仿真;

③ 系统要求提供更大的磁盘空间。

2. 软件安装

Electronics Workbench 5.0 的安装,是基于 Windows 的操作界面之下,至于安装源盘是软盘还是 CD 光盘,操作系统是 Windows 3.1 还是 Windows 95,其安装情况略有差异,但基本步骤大致相同。下面介绍的是以安装源盘为 3.5 英寸软盘,在 Windows 95 操作系统下的安装步骤,要求用户已具备 PC 机和 Windows 的基本操作知识,否则,请事先参阅有关的手册。

安装步骤:

① 启动 Windows 95,按屏幕左下角的“开始”按钮,将鼠标指向“设置”,而后单击“控制面板”项。将鼠标指向“添加/删除程序”图标,单击该图标出现对话框,选择“安装”,即可以把软件从软盘驱动器或光驱安装到计算机的硬盘中。

② 根据源盘所在位置,选定驱动器,将 3.5 英寸安装源盘中的 1# 软盘插入软驱,(5.0 版本的软件共有 8 张软盘)找到安装盘的启动文件 setup.exe,并运行该文件。

③ 根据屏幕提示信息安装:确定程序安装位置、工作目录、输入用户信息和序列号,由于 Electronics Workbench 5.0 版本的软件带有“硬件狗”,在进行软件安装和运行时,必须把它安装在计算机的并行输出口上。

④ 选择安装硬盘位置时,应考虑磁盘空间是否能满足程序运行时,临时性文件所要求的

磁盘空间大小。
程序安装时的界面见图 2-1 所示。

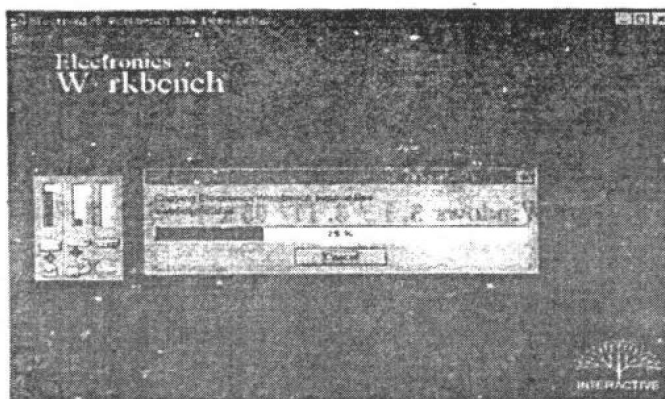


图 2-1 Workbench 安装界面

在安装完毕,启动 Workbench 图标后,其工作界面如图 2-2 所示。

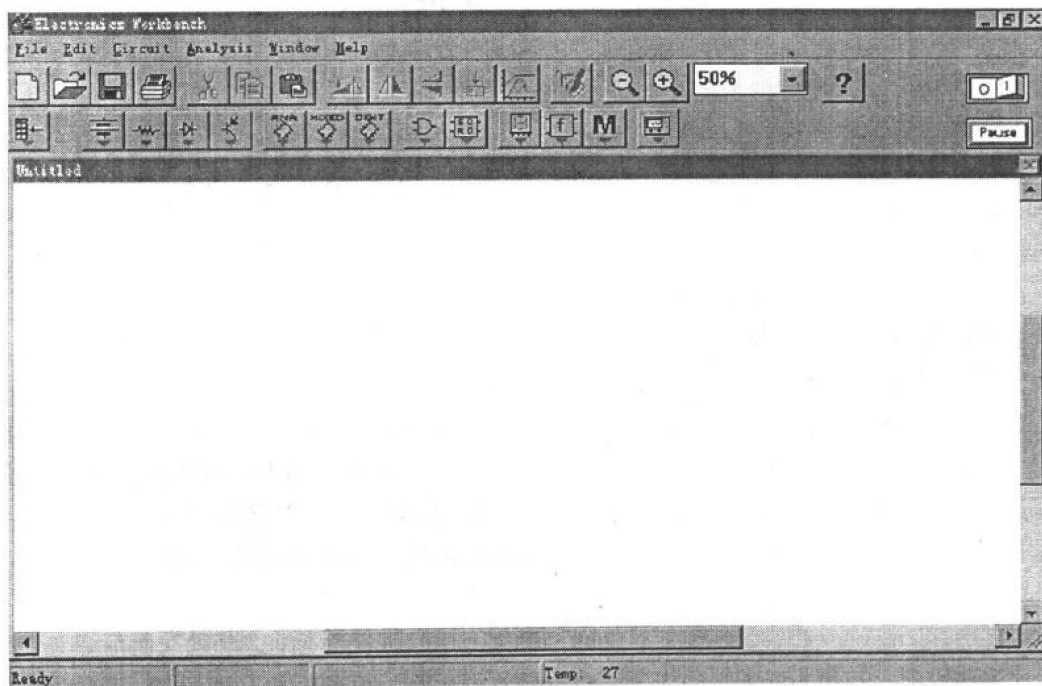


图 2-2 Workbench 工作界面

2.2 EWB 的基本界面

2.2.1 EWB 的主窗口

启动 EWB 5.0,可以看到其主窗口如下图 2-3 所示。

从图中可以看出,EWB 模仿了一个实际的电子实验台。主窗口中最大的区域是电路工

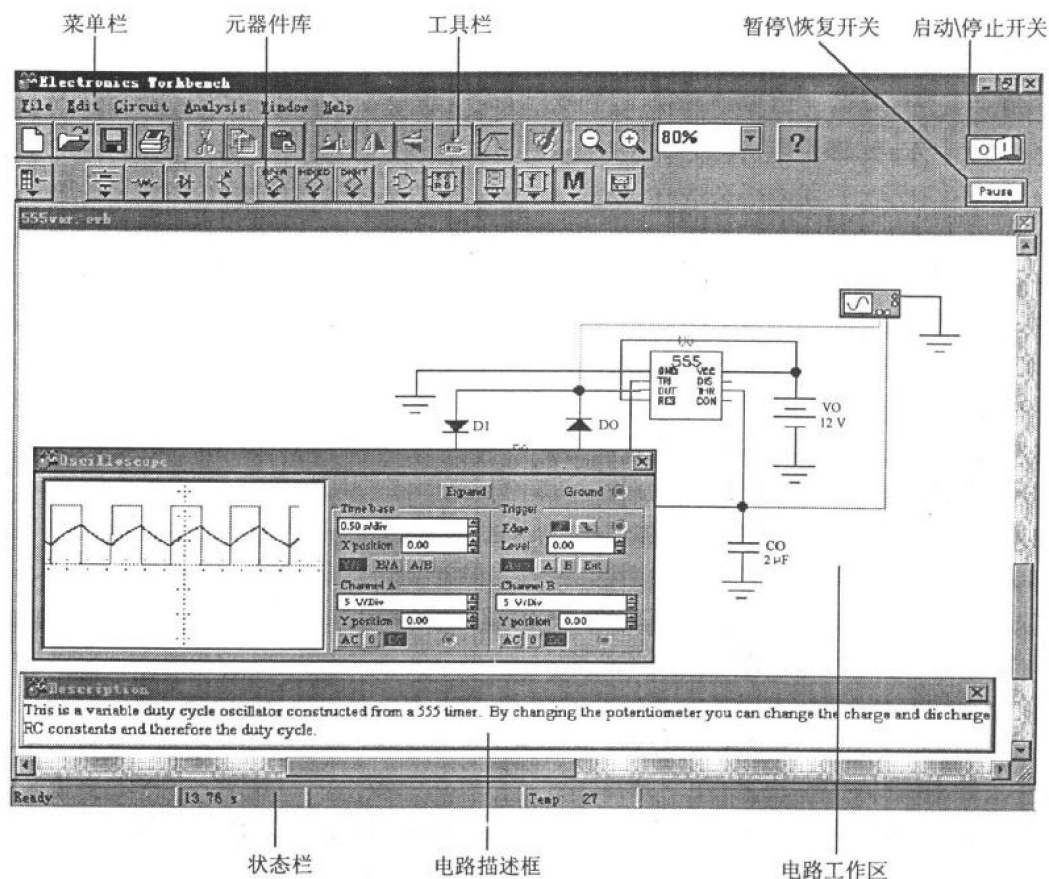


图 2-3 EWB 5.0 的主窗口

作区,在这里可以进行电路的连接和测试。在电路工作区的下方是阐述区,可用于对电路进行注释和说明。工作区的上面是菜单栏、工具栏和元器件库栏。从菜单栏可以选择电路连接、实验所需的各种命令。工具栏包含了常用的操作命令按钮。元器件库栏包含了电路实验所需的各种元器件与测试仪器。通过鼠标器操作即可方便地使用各种命令和实验设备。按下“启动/停止”开关或“暂停/恢复”按钮可以方便地控制实验的进程。一个元器件丰富、仪器设备齐全、电路连接方便的虚拟电子实验台展现在我们的眼前。

2.2.2 EWB 的工具栏

图 2-4 对工具栏给出了简单的标注。

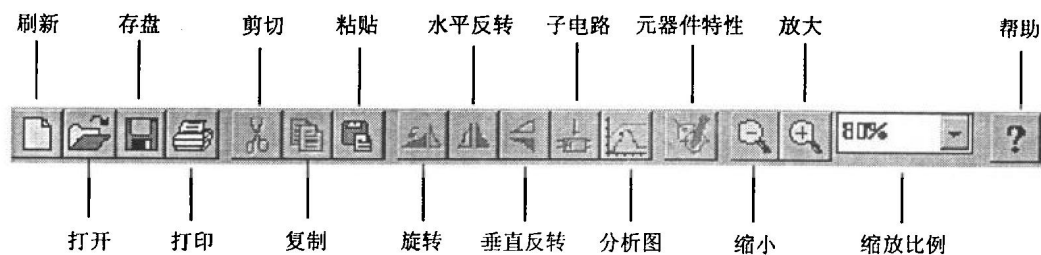


图 2-4 工具栏

工具栏中各个按钮的名称及其功能如下:

- 刷 新——清除电路工作区,准备生成新电路;
- 打 开——打开电路文件;
- 存 盘——保存电路文件;
- 打 印——打印电路文件;
- 剪 切——剪切至剪贴板;
- 复 制——复制至剪贴板;
- 粘 贴——从剪贴板粘贴;
- 旋 转——将选中的元件逆时针旋转 90 度;
- 水平反转——将选中的元件水平反转;
- 垂直反转——将选中的元件垂直反转;
- 子 电 路——生成子电路;
- 分 析 图——调出分析图;
- 元件特性——调出元件特性对话框;
- 缩 小——将电路图缩小一定比例;
- 放 大——将电路图放大一定比例;
- 缩放比例——显示电路图的当前缩放比例,并可下拉出缩放比例选择框;
- 帮 助——调出与选中对象有关的帮助内容。

2.2.3 EWB 的元器件库栏

EWB 5.0 提供了非常丰富的元器件库及各种常用测试仪器,给电路仿真实验带来了极大的方便。图 2-5 对元器件库栏给出了标注。

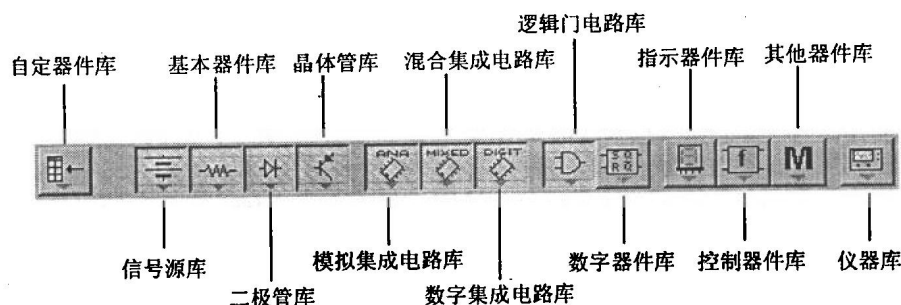


图 2-5 元器件库栏

单击元器件库栏的某一个图标即可打开该元件库。下面对每一个元器件库中各个图标所表示的元器件含义逐一给出详细的标注。关于这些元器件的功能和使用方法将在 2.5 节介绍。读者还可使用在线帮助功能查阅有关的内容。帮助功能的使用方法见 2.3.4。

1. 信号源库

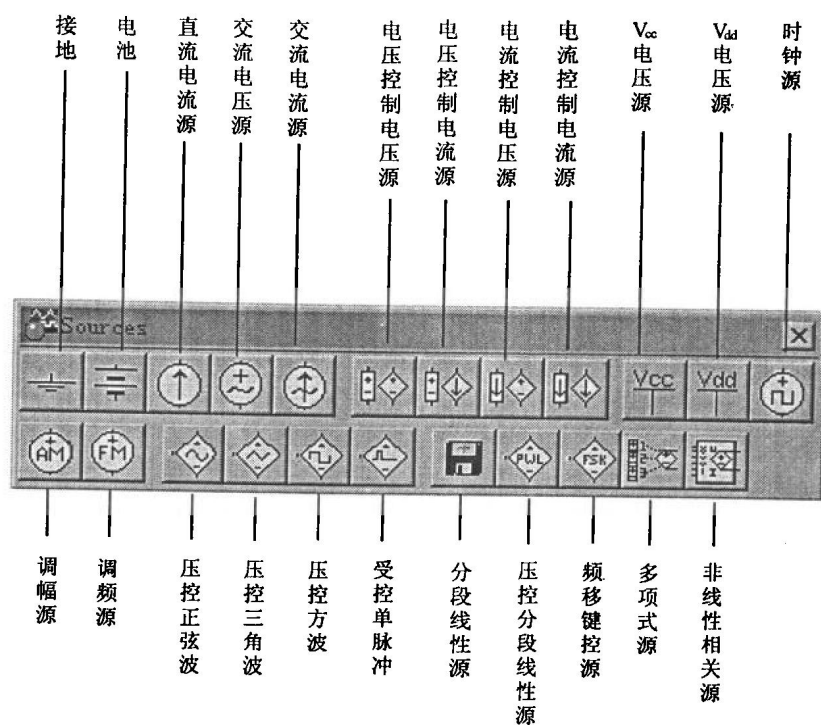


图 2-6 信号源库

2. 基本器件库

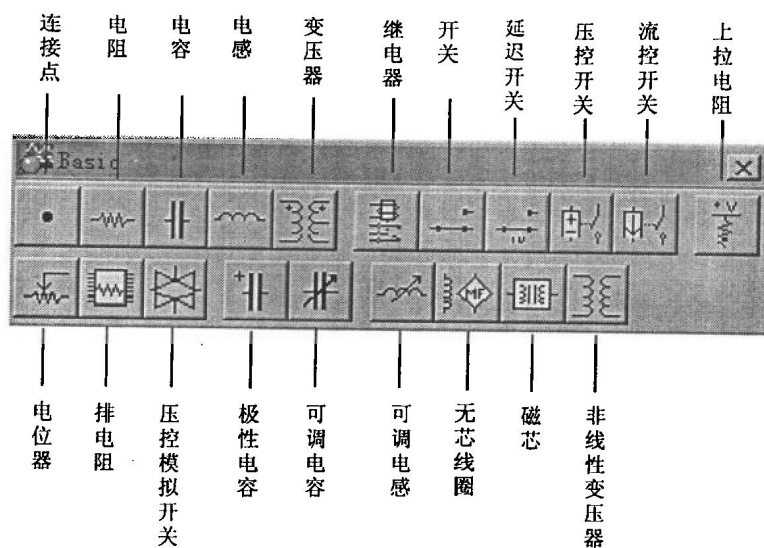


图 2-7 基本器件库

3. 二极管库

4. 模拟集成电路库

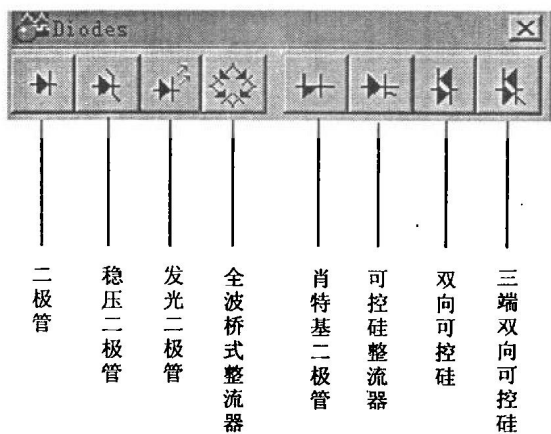


图 2-8 二极管库

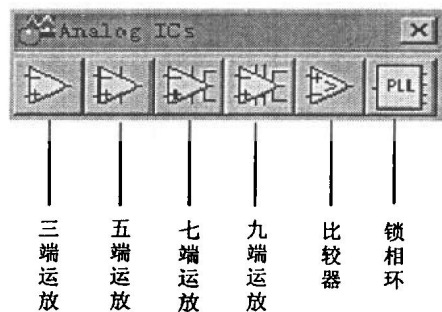


图 2-9 模拟集成电路库

5. 晶体管库

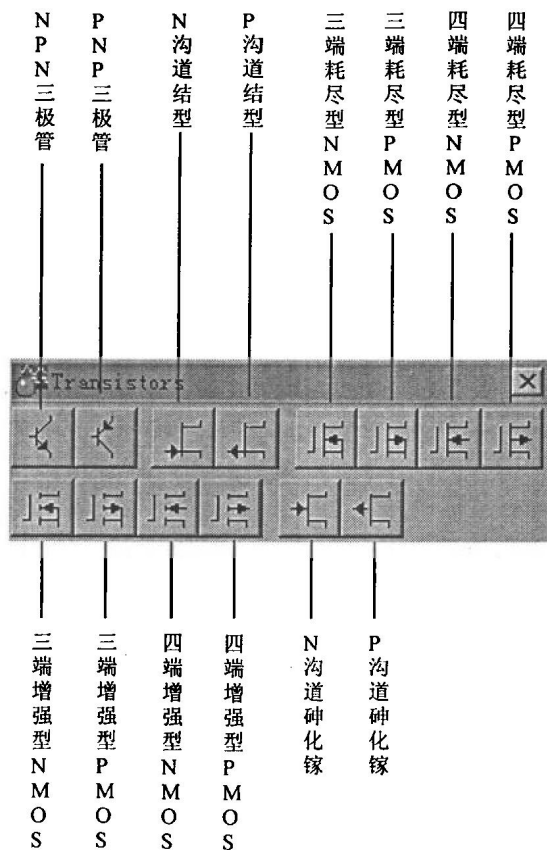


图 2-10 晶体管库

6. 混合集成电路库

7. 数字集成电路库

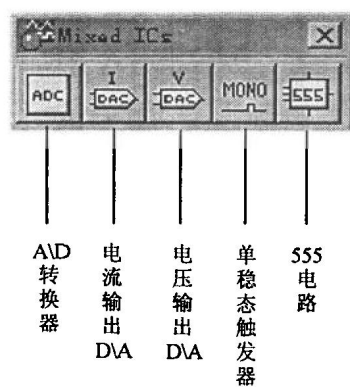


图 2-11 混合集成电路库

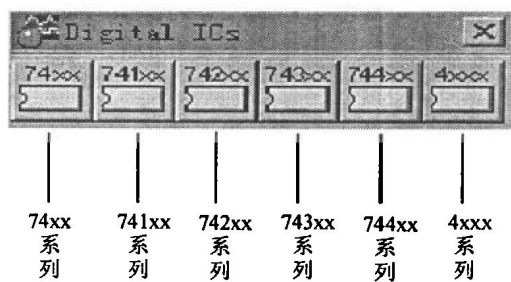


图 2-12 数字集成电路库

8. 逻辑门电路库

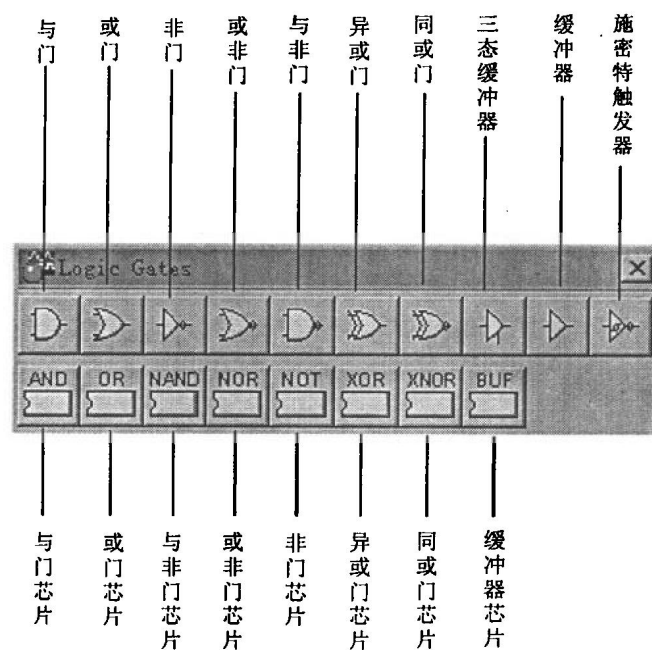


图 2-13 逻辑门电路库

9. 指示器件库

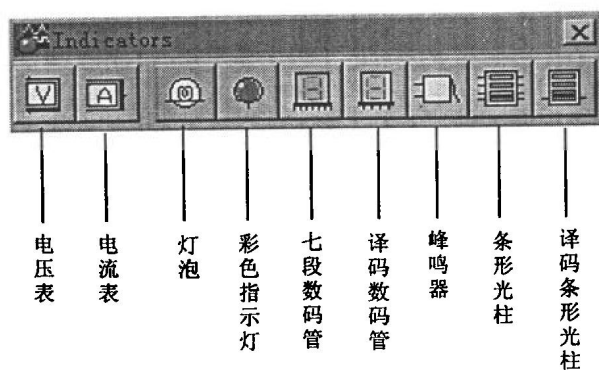


图 2-14 指示器件库

10. 数字器件库

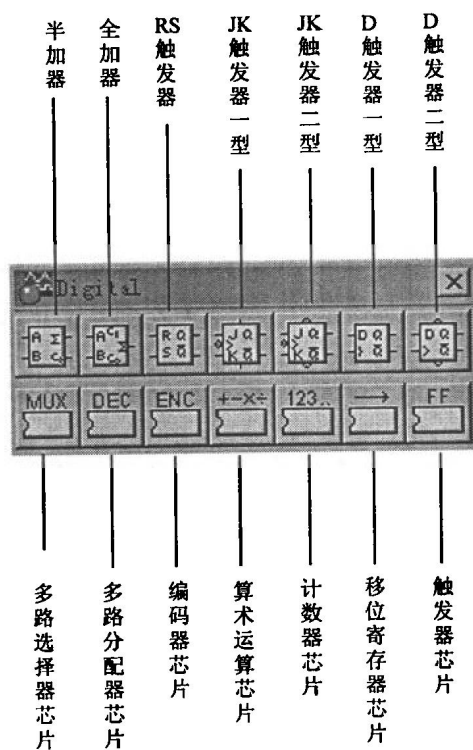


图 2-15 数字器件库

11. 控制器件库

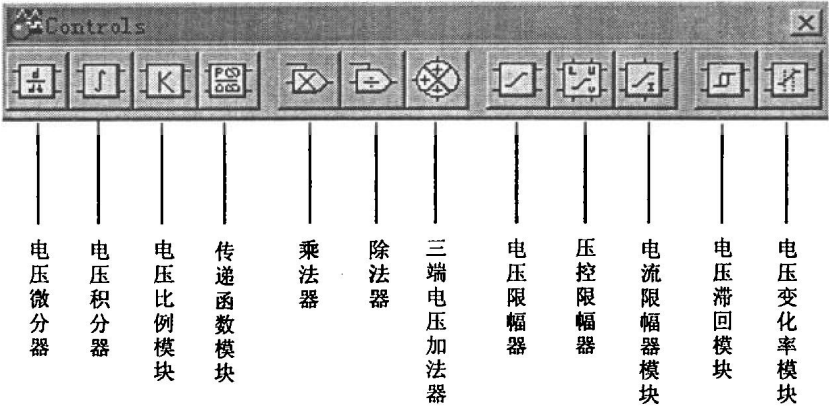


图 2-16 控制器件库

12. 其他器件库

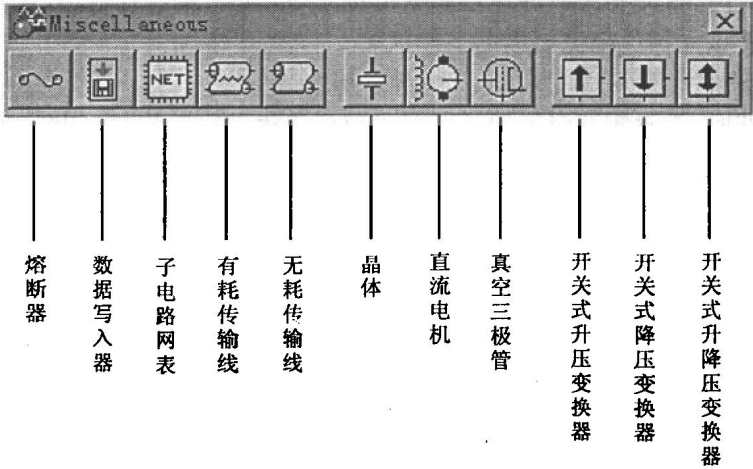


图 2-17 其它器件库

13. 仪器库

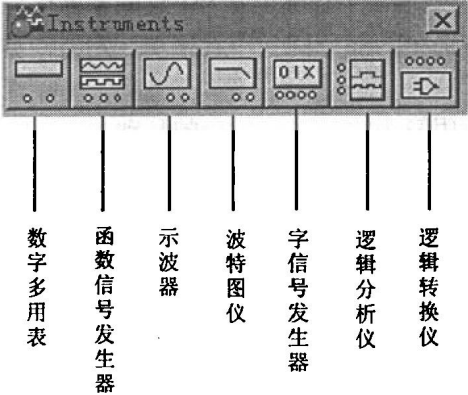


图 2-18 仪器库