

主编：高 嵩 副主编：李传琦 邹其洪

Autocontro

自动控制理论实验 与计算机仿真 Computer Simulation

国防科技大学出版社

自动控制理论与计算机仿真

主 编：高 嵩

副主编：李传琦 邹其洪

编 著：李 铁 阳武娇 黄智伟

国防科技大学出版社

·长沙·

内容简介

本书是为高等学校自动化、电气工程自动化、电子工程、通信工程类等相关专业编写的自动控制理论实验课程教材。本书共分4章,介绍自动控制理论实验设备, Multisim 2001 仿真软件的基本功能和使用方法, MATLAB 的基本功能和使用方法, SIMPLINK 仿真环境的基本功能与使用方法, 自动控制理论实验的实验目的、实验原理、实验设备与元器件、实验内容、计算机仿真实验等内容。

本书可以作为大专院校自动控制理论课程的实验教材,也可以作为从事自动化、电子工程、通信工程、电气程控制应用与研究的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制理论实验与计算机仿真/高嵩主编. —长沙:国防科技大学出版社,2004.9

ISBN 7-81099-131-0

I. 自… II. 高… III. ①自动控制原理②自动控制实验③计算机仿真 IV. TP13

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

E-mail: gfkdcbs@ public.cs.hn.cn

责任编辑:何晋 责任校对:肖滨

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/16 印张:12 字数:307千

2004年9月第1版第1次印刷 印数:1-3000册

*

ISBN 7-81099-131-0/TP·9

定价:19.80元

前 言

本书是为高等学校电子、自动化、电气工程等相关专业编写的自动控制理论实验课程教材,是根据教育部《关于加强高等学校本科教育工作提高教学质量的若干意见》文件精神和《高等教育基础实验教学示范中心建设标准》要求,参照《高等工程学校电子技术基础课程教学基本要求》以及《普通高等教育“十五”国家规划教材》的立项要求,编写的一本符合 21 世纪教学改革要求的实验教材。

自动控制理论实验是配合自动控制理论课程教学的一个非常重要的教学环节,通过实验能够巩固自动控制理论基础理论知识,培养学生的实践技能、动手能力和分析问题和解决问题的能力,启发学生的创新意识及创新思维潜力。

本书共分 4 章。第 1 章介绍自动控制理论实验设备的基本原理和使用方法。第 2 章介绍电子工作台 EWB/Multisim 2001 仿真软件的基本操作方法,虚拟电子器件、虚拟仪器仪表和虚拟电路的组建与运行及电路分析方法。第 3 章介绍 MATLAB 的基本界面、各操作窗口、MATLAB 的数值运算、绘图、程序设计等基本功能;SIMULINK 仿真环境的连续系统、离散系统、函数与表、数学运算、非线性、信号与系统、输出、输入源、子系统等模块库, SIMULINK 的模块的操作、模块的连接、系统模型创建、自定义模块库、自定义子系统的基本操作。第 4 章介绍自动控制理论的基本实验:典型环节及其阶跃响应实验、二阶系统的阶跃响应实验、控制系统的稳定性分析实验、系统频率特性测量实验、连续系统串联校正实验、数字 PID 控制实验、状态反馈与状态观测器实验、解耦控制实验、采样定理验证实验、非线性环节实验的实验目的、实验原理、实验设备与元器件、实验内容、计算机仿真实验方法等内容。

本书具有如下特点:①紧密配合课程内容与体系改革和实验教学改革的要求;②内容详细完整能与大多数高等学校实验中心的实验设备配套;③引进计算机仿真技术,将计算机虚拟实验与传统的实际工程实验有机的结合,提供给学生先进的实验技术和发挥想象力、创造力的空间。

本书可以作为大专院校自动控制理论课程的实验教材,也可以作为从事电子、自动化、电气程控制应用与研究的工程技术人员的参考书。

本书由南华大学电气工程学院《自动控制理论实验与计算机仿真》教材编写组编写,高嵩主编,李传琦、邹其洪副主编,李铁、阳武娇、黄智伟、赵艳辉、洪镇南、王力、陈世和、阳璞琼、孙凌祥、王丽君、刘冲等老师参加了编写工作,南华大学电气工程学院电子信息工程、自动化、电气工程及其自动化、电工电子基础等教研室的其他老师也提出了不少有益的建议,北京达盛科技有限公司提供仪器和大力支持,在此一并表示感谢。

编 者

2004.2.28 于南华大学

目 录

第 1 章 自动控制理论实验设备简介

1.1 自动控制理论实验设备	(1)
1.2 自动控制理论实验软件与使用	(2)
1.2.1 软件安装	(2)
1.2.2 使用说明	(2)
1.2.3 菜单说明	(4)
1.2.4 实验注意事项	(6)

第 2 章 Multisim 2001 仿真软件

2.1 Multisim 2001 系统简介	(7)
2.2 Multisim 的基本界面	(8)
2.2.1 Multisim 的主窗口	(8)
2.2.2 Multisim 菜单栏	(9)
2.2.3 Multisim 工具栏	(16)
2.2.4 Multisim 的元器件库	(16)
2.2.5 Multisim 仪器仪表库	(22)
2.3 Multisim 的基本操作	(23)
2.3.1 文件操作	(23)
2.3.2 元器件的操作	(24)
2.3.3 导线的操作	(29)
2.3.4 输入/输出端点	(30)
2.3.5 创建子电路	(30)
2.3.6 在电路工作区内输入文字	(31)
2.3.7 输入文本	(32)
2.3.8 编辑图纸标题栏	(32)
2.3.9 电路操作环境的设置	(33)
2.4 Multisim 常用仪器仪表的使用	(38)
2.4.1 仪器仪表的基本操作	(38)

2.4.2	电压表	(39)
2.4.3	电流表	(39)
2.4.4	数字多用表	(39)
2.4.5	函数信号发生器	(41)
2.4.6	示波器	(41)
2.4.7	波特图仪	(43)
2.4.8	频谱分析仪	(44)
2.4.9	其他仪器	(45)
2.5	Multisim 的分析方法	(48)
2.5.1	Multisim 的分析菜单	(48)
2.5.2	Multisim 的分析方法与功能	(49)

第3章 MATLAB 语言简介

3.1	MATLAB 语言的特点	(54)
3.2	MATLAB 的桌面平台	(55)
3.2.1	MATLAB 的主窗口	(55)
3.2.2	MATLAB 的命令窗口(Command Window)	(56)
3.2.3	MATLAB 的历史窗口(Command History)	(56)
3.2.4	MATLAB 的当前目录窗口(Current Directory)	(56)
3.2.5	MATLAB 的发布窗口(Launch Pad)	(57)
3.2.6	MATLAB 的工作间管理窗口(Workspace)	(57)
3.2.7	MATLAB 的程序编辑器	(58)
3.2.8	MATLAB 的演示界面(Demos)	(59)
3.2.9	MATLAB 的帮助系统(Help)	(59)
3.3	MATLAB 的功能	(62)
3.3.1	MATLAB 的数学运算功能	(62)
3.3.2	MATLAB 的绘图功能	(67)
3.3.3	MATLAB 的程序设计	(70)
3.4	MATLAB 在建模仿真中的应用	(75)
3.4.1	Simulink 与建模仿真	(75)
3.4.2	Simulink 建模仿真	(76)
3.4.3	Continuous(连续系统模块库)	(77)
3.4.4	Discrete(离散系统模块库)	(78)
3.4.5	Math Operation(数学运算模块库)	(78)
3.4.6	Nonlinear(非线性系统模块库)	(80)
3.4.7	Sinks(接收/显示输出模块库)	(81)
3.4.8	Sources(输入源模块库)	(82)
3.4.9	模块的操作	(84)

3.4.10 系统仿真运行	(86)
3.4.11 系统建模仿真实例	(87)
3.4.12 子系统的创建与封装	(90)

第4章 自动控制理论实验

4.1 典型环节及其阶跃响应实验	(98)
4.1.1 实验目的	(98)
4.1.2 实验原理	(98)
4.1.3 实验内容	(101)
4.1.4 实验步骤	(102)
4.1.5 仿真实验	(103)
4.1.6 预习思考题	(112)
4.1.7 实验总结报告	(112)
4.2 二阶系统的阶跃响应实验	(113)
4.2.1 实验目的	(113)
4.2.2 实验原理	(113)
4.2.3 实验内容	(115)
4.2.4 实验步骤	(116)
4.2.5 仿真实验	(117)
4.2.6 预习思考题	(121)
4.2.7 实验总结报告	(121)
4.3 控制系统的稳定性分析实验	(121)
4.3.1 实验目的	(121)
4.3.2 实验原理	(121)
4.3.3 实验内容	(122)
4.3.4 实验步骤	(122)
4.3.5 仿真实验	(123)
4.3.6 预习思考题	(126)
4.3.7 实验总结报告	(126)
4.4 系统频率特性测试实验	(127)
4.4.1 实验目的	(127)
4.4.2 实验原理	(127)
4.4.3 实验内容	(127)
4.4.4 实验步骤	(128)
4.4.5 仿真实验	(128)
4.4.6 预习思考题	(131)
4.4.7 实验总结报告	(131)
4.5 连续系统串联校正实验	(132)

4.5.1	实验目的	(132)
4.5.2	实验原理	(132)
4.5.3	实验内容	(133)
4.5.4	实验步骤	(134)
4.5.5	仿真实验	(136)
4.5.6	预习思考题	(145)
4.5.7	实验总结报告	(145)
4.6	数字 PID 控制实验	(146)
4.6.1	实验目的	(146)
4.6.2	实验原理	(146)
4.6.3	实验内容	(148)
4.6.4	实验步骤	(148)
4.6.5	仿真实验	(148)
4.6.6	预习思考题	(151)
4.6.7	实验总结报告	(151)
4.7	状态反馈与状态观测器实验	(151)
4.7.1	实验目的	(151)
4.7.2	实验原理	(151)
4.7.3	实验内容	(153)
4.7.4	实验步骤	(153)
4.7.5	仿真实验	(154)
4.7.6	预习思考题	(157)
4.7.7	实验总结报告	(157)
4.8	解耦控制实验	(157)
4.8.1	实验目的	(157)
4.8.2	实验原理	(157)
4.8.3	实验内容	(160)
4.8.4	实验步骤	(160)
4.8.5	仿真实验	(161)
4.8.6	预习思考题	(167)
4.8.7	实验总结报告	(167)
4.9	采样定理验证实验	(167)
4.9.1	实验目的	(167)
4.9.2	实验原理	(167)
4.9.3	实验内容	(171)
4.9.4	实验步骤	(172)
4.9.5	预习思考题	(173)
4.9.6	实验总结报告	(173)

4.10 非线性环节实验	(173)
4.10.1 实验目的	(173)
4.10.2 实验原理	(173)
4.10.3 实验内容	(175)
4.10.4 实验步骤	(175)
4.10.5 仿真实验	(175)
4.10.6 预习思考题	(180)
4.10.7 实验总结报告	(180)
参考文献	(181)

第 1 章 自动控制理论

实验设备简介

1.1 自动控制理论实验设备

自动控制理论实验所使用的设备由计算机、A/D、D/A 卡、自控原理实验箱、打印机组成(如图 1.1.1 所示),其中计算机根据不同的实验分别起到信号产生、测量、显示、系统控制及数据处理的作用,模拟电路起到模拟被控对象的作用。

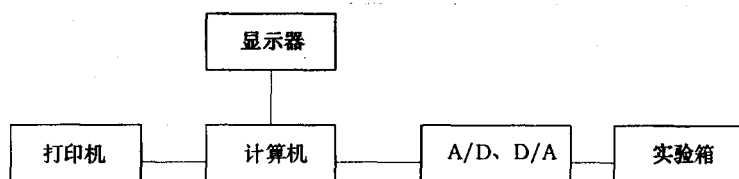


图 1.1.1 实验系统组成

详细配置如下:

(1)开关电源有 $\pm 12\text{V}$, 0.3A ; $+5\text{V}$, 2.5A 输出。

(2)实验板中备有 7 个运算放大器。集成运算放大器与电阻、电容相配合,可以构成多种特性的被控对象。

(3)A/D、D/A 卡起模拟信号与数字信号的转换作用,可根据实验的要求产生不同的信号(阶跃、三角、正弦)。

(4)A/D 输入特性:A/D 输入为 $0 \sim 5\text{V}$,最大允许共模输入电压 $\pm 5\text{V}$ 。

(5)A/D 卡的 D/A 输出特性:D/A 输出为 $-2.5\text{V} \sim +2.5\text{V}$ 。

(6)实验系统板上标有 AD1 IN, AD2 IN 的端子为 A/D 卡的 A/D 输入接线端。

(7)实验系统板上标有 DA1 OUT, DA2 OUT 的端子为 A/D 卡的 D/A 输出接线端。

使用时用 RS232 串口电缆将 A/D、D/A 卡与计算机相连即可。如果实验系统配备打印机,则可以在实验的同时将实验结果打印输出。此套实验设备既可以构成一个自动控制元件,也可以构成一个自动控制系统,并对其特性进行测量。所有的自动控制理论实验都可以在这套实验装置上完成。

1.2 自动控制理论实验软件与使用

1.2.1 软件安装

- (1) 进入软件安装目录[光盘驱动器:]\自动控制 2.0。
- (2) 启动软件安装程序 setup.exe, 按照安装程序的提示进行软件的安装。
- (3) 安装成功后将在桌面上生成[自动控制实验系统]图标。鼠标双击图标即可以启动自动控制实验系统配套软件。

1.2.2 使用说明

1. 在实验之前首先应测试计算机与实验箱的通信是否正常。测试方法是鼠标点击[系统设置通信串口测试], 将弹出如图 1.2.1 所示对话框。

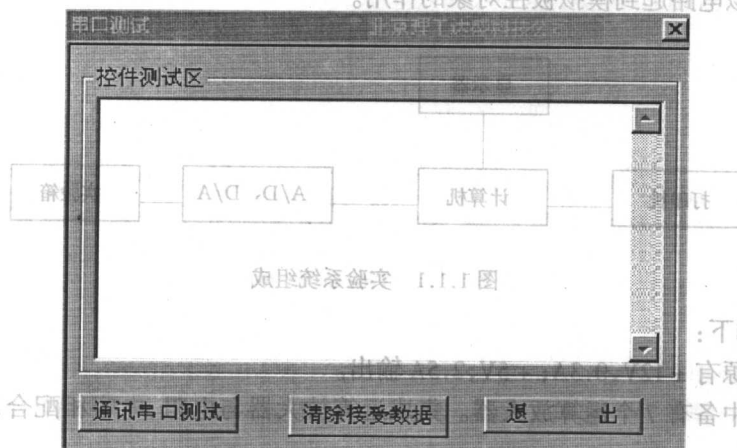


图 1.2.1 [系统设置通信串口测试]窗口

鼠标点击[通信串口测试]按钮, 如计算机与实验箱通信正常将返回信息, 其信息如图 1.2.2 所示。

如果无信息返回则表明计算机与实验箱的通信不正常。请检查计算机与实验箱的连线或更改软件的设置。

2. 软件的串口设置方法

鼠标点击[系统设置串口设置], 将弹出如图 1.2.3 所示对话框。在串口设定值后修改所有的串口号, 实验系统与计算机的 COM1 口相连, 则将其设定为 1; 实验系统与计算机的 COM2 口相连, 则将其值设定为 2。

串口设定完成后重新进行串口通信测试。鼠标连线无误后接通电源。在实验课题下拉菜单中选择相应的实验课题。鼠标点击实验课题, 将弹出实验课题参数窗口对话框(如图 1.2.4 所示)。

在实验课题参数设置窗口中设置相应的实验所用参数, 参数设置完成后鼠标点击确认, 等待观察实验结果。



图 1.2.2 信息图

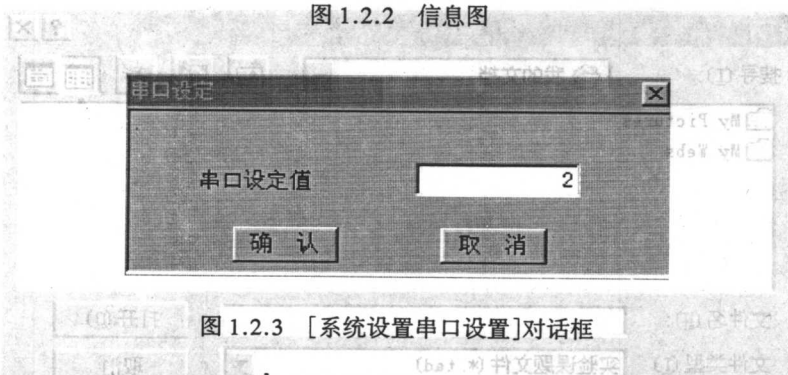


图 1.2.3 [系统设置串口设置]对话框

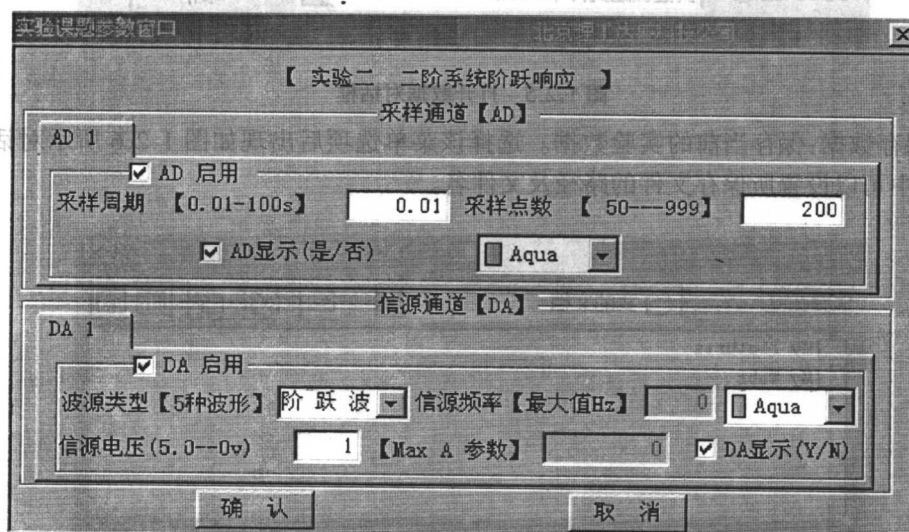


图 1.2.4 参数设置窗口对话框

1.2.3 菜单说明

1. 实验课题 (Alt + T)

在该菜单下选择所做的实验课题项目,鼠标单击实验课题名称即可进入相应的实验。

2. 系统设置 (Alt + M)

(1)串口设置:设置实验中所使用的串口,设定的串口标号应与计算机实际所使用的一致。

(2)通信串口测试:测试实验系统与计算机的通信是否正常。在实验之前必须先进行串口通信测试,在确认串口通信正常后才可以进行实验。测试方法是鼠标单击对话框中的通信串口测试按钮,如果通信正常将有信息返回,如通信不正常则无返回信息。

3. 实验数据 (Alt + F)

(1)打开数据:打开已经保存的实验数据。选择该菜单选项后出现如图 1.2.5 所示对话框。在该窗口中可以设置打开文件的路径及文件名。

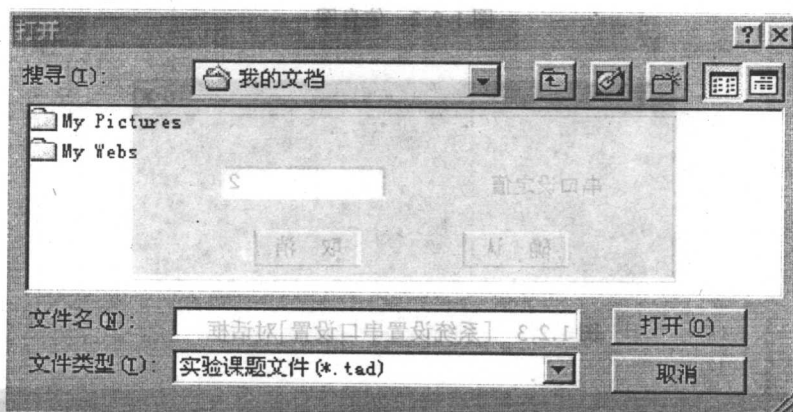


图 1.2.5 打开数据对话框

(2)保存数据:保存当前的实验数据。选择该菜单选项后出现如图 1.2.6 所示对话框。在该窗口中可以设置所保存文件的路径及文件名。

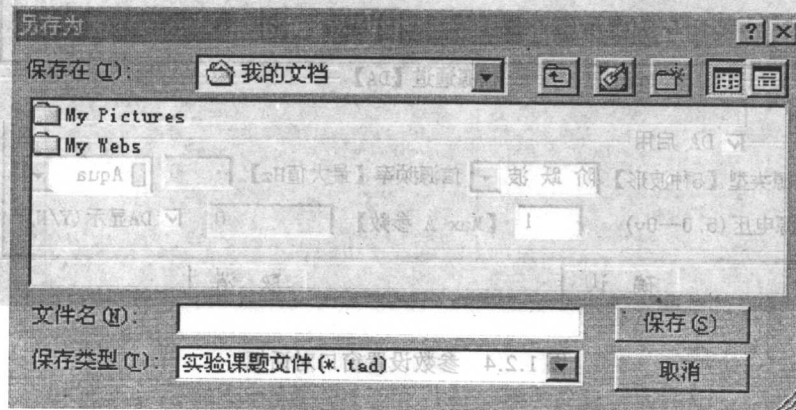


图 1.2.6 数据保存对话框

4. 打印

将实验的结果在打印机上打印输出。鼠标点击将弹出图 1.2.7 所示对话框。

打印数据信息的来源有两种途径：

(1) 可以打印当前内存中的数据。

(2) 可以打印已经保存过的数据。

两种不同的打印方式可以通过对话框进行选择。其对话框如图 1.2.7 所示。

实验数据打印

数据报告信息

实验学生班级 学生组别

学生学号 学生姓名

指导老师

数据信息

☒ 打印当前内存数据 ☐ 打印文件

数据文件路径

图 1.2.7 数据报告信息窗口

5. 打印设置

设置打印时的相关信息。鼠标点击将弹出如图 1.2.8 所示对话框。将需要打印的信息填入相应的空白处,填写完成后鼠标点击确认按钮保存,保存完成后鼠标点击退出按钮,即退出该对话框。

打印设置

学校信息

学校名称

实验室名称

数据报告信息

实验学生班级 学生组别

指导老师

图 1.2.8 学校信息窗口

6. 查看(Alt + V)

(1) 课题资料:选择该项将显示自控原理实验课题的基本资料,其中包括实验所使用的基

第2章 Multisim 2001 系统

Multisim 2001 是 Interactive Image Technologies 公司 2001 年推出的 Multisim 最新版本。本章介绍 Multisim 2001 系统的基本界面, Multisim 的基本操作, 电路创建的基础, 仪器仪表的使用方法, 电子电路仿真设计举例, 以及电路分析的基本方法。

2.1 Multisim 2001 系统简介

加拿大 Interactive Image Technologies 公司于 20 世纪 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, EWB)软件, 软件的方法虚拟电子与电工元器件, 虚拟电子与电工仪器和仪表, 实现了“软件即仪器”、“软件即元器件”。

EWB 软件是一个原理电路设计、电路功能测试的虚拟仿真软件, 其虚拟仿真对象包括模拟电路、数字电路、模拟数字混合电路(A/D 转换器、D/A 转换器、555 电路等)、原理性电源(如电流控制电压源、电压控制电压源等)、分立元器件(如电阻、电容、晶体管等)、显示元件(如 LED、逻辑测试笔、灯泡等)。

EWB 的元器件库提供数千种电路元器件供实验选用, 并且还提供各种元器件的理想值。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以从生产厂商的产品使用手册中查到, 因此也很方便的在工程设计中使用。

EWB 的虚拟测试仪器仪表种类齐全, 既有一般实验用的通用仪器, 如万用表、函数信号发生器、双踪示波器、直流电源, 还有一般实验室少有或没有的仪器, 如波特图仪、字信号发生器、逻辑分析仪、逻辑转换器。

EWB 可以设计、测试和演示各种电子电路, 包括电工学、模拟电路、数字、电路、高频电路及部分微机接口电路等。EWB 在计算机上提供电子电路实验所需要的元器件(包括型号、参数等)、测试的仪器仪表、信号源、导线以及电路连接等。

EWB 具有较为详细的电路分析功能, 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、离散傅里叶分析、电路零极点分析、交直流灵敏度分析和电路容差分析等常规电路分析方法, 以帮助设计人员分析电路的性能。

EWB 还可以对被仿真的电路中的元器件设置各种故障, 如开路、短路和不同程度的漏电等, 从而观察不同故障情况下的电路工作状况。在进行仿真的同时, 软件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、显示波形和具体数据等。

EWB 有丰富的 Help 功能, 其 Help 系统不仅包括软件本身的操作指南, 更重要的是包含有元器件的功能解说, Help 中这种元器件功能解说有利于使用 EWB 进行 CAI 教学。另外, EWB 还提供了与国内外流行的印刷电路板设计自动化软件 Protel 及电路仿真软件 PSpice 之间的文

件接口,也能通过 Windows 的剪贴板把电路图送往文字处理系统中进行编辑排版。

目前使用的 Electronics Workbench 有 V4.0、V5.0 两个版本。在 V4.0、V5.0 两个版本之后, Interactive Image Technologies 公司对 EWB 进行了升级,将仿真设计的模块更名为 Multisim,将 PCB 设计软件 Electronics Workbench Layout 模块更名为 Ultiboard,为了加强 Ultiboard 的布线能力,还提供了一个 Ultroute 布线引擎,另外还增加了一个专门用于通信电路分析与设计的模块 Commsim。目前 EWB 的基本组成包含有 Multisim、Ultiboard、Ultroute、Commsim 四个部分,能完成从电路的仿真设计到电路版图生成的全过程。Multisim、Ultiboard、Ultroute、Commsim 四个部分相互独立,可以分别使用。

Multisim 2001 是 Interactive Image Technologies 公司 2001 年推出的 Multisim 最新版本, Multisim 在 EWB 的基础上对功能和操作方法有较大改进,大量增加了与现实元件对应的元件模型,极大地扩充了元件数据库;改进了元器件之间的连接方式;增加了射频元器件库和射频电路仿真功能;增加了元件编辑器,用户可以自行创建或修改所需元件模型;增加了瓦特计、失真仪、频谱分析仪和网络分析仪等新的测试仪表。专业版的 Multisim 支持 VHDL 和 Verilog HDL 语言的电路仿真与设计。EdaPARTS.com 网站可以为用户提供元器件模型的扩充和技术支持。Multisim 2001 易学易用,便于工程技术人员和电子、通信、自动控制、电气类专业学生自学,便于开展综合性的设计和实验,有利于培养综合分析能力、开发和创新能力。

利用 Multisim 2001 可以实现计算机仿真设计与虚拟实验,它传统的电子电路设计与实验方法相比,具有如下特点:设计与实验可以同步进行,可以边设计边实验,修改调试方便;设计和实验用的元器件及测试仪器仪表齐全,可以完成各种类型的电路设计与实验;可方便地对电路参数进行测试和分析;可直接打印输出实验数据、测试参数、曲线和电路原理图;实验中不消耗实际的元器件,实验所需元器件的种类和数量不受限制,实验成本低,实验速度快,效率高;设计和实验成功的电路可以直接在产品中使用。

Multisim 2001 有增强专业版(Power Professional)、专业版(Professional)、个人版(Personal)、教育版(Education)、学生版(Student)、演示版(Demo)等多个版本,各版本的功能和价格有着明显的差异。本书仅对 Multisim 2001 教育版进行介绍。

2.2 Multisim 的基本界面

2.2.1 Multisim 的主窗口

启动 Multisim 2001,可以看到如图 2.2.1 所示的 Multisim 的主窗口。

从图 2.2.1 可以看出, Multisim 的主窗口如同一个实际的电子实验台。屏幕中央区域最大的窗口就是电路工作区,在电路工作区上可将各种电子元器件和测试仪器仪表连接成实验电路。电路工作窗口上方是菜单栏、工具栏。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。通过鼠标操作可方便地使用各种命令和实验设备。电路工作窗口两边是元器件栏和仪器仪表栏。元器件栏存放着各种电子元器件,仪器仪表栏存放着各种测试仪器仪表,用鼠标操作可以很方便地从元器件和仪器库中提取实验所需的各种元器件及仪器、仪表到电路工作窗口,并连接成实验电路。按下电路工作窗口的上方的“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。