



普通高等教育“十二五”规划教材·电子电气基础课程规划教材



国家级电工电子实验教学示范中心系列实验教材

电路分析实验教程

• 许红梅 刘妍妍 主 编
• 张 瑜 吴 戈 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY <http://www.phei.com.cn>

电子电气基础课程规划教材

电路分析实验教程

许红梅 刘妍妍 主 编

张 瑜 吴 戈 副主编

赵海丽 刘云荣 韩春玲 参 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书针对电路分析理论课程中的基本理论和基本概念,结合电路现代计算机辅助分析手段,系统地介绍了电路分析基本原理、电路基本分析方法的验证及实践应用。全书分为四章,内容涵盖电路的基本原理验证以及电路分析常用测试方法,包括电路模型、电路的等效、叠加原理、动态电路分析以及正弦稳态分析;电路的综合分析,包括功率匹配及补偿、谐振电路分析、负阻变换器及回转器等应用电路分析;简单电路设计,包括简易温度计、波形发生器及波形变换器、简易电源、音响音调调节器、简易门铃以及移相器的设计。

本书力求深入浅出,论证清楚,便于自学。以Multisim10.0为例,阐述了电子工作平台上电路分析的过程及方法,配合理论教学,给出了一些电路设计及分析的实例,同时对应每一部分设计了相关问题,以便使读者更好地理解 and 掌握电路分析的基础理论和基本分析方法。

本书可作为大学本科、专科电子、信息类专业电路基础和电路分析基础课程的实验指导书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析实验教程 / 许红梅, 刘妍妍主编. —北京: 电子工业出版社, 2014.1

电子电气基础课程规划教材

ISBN 978-7-121-22296-2

I. ①电… II. ①许… ②刘… III. ①电路分析—实验—高等学校—教材 IV. ①TM133-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 317332 号

责任编辑: 竺南直

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 720×1000 1/16 印张: 10 字数: 200 千字

印 次: 2014 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 22.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

实验技术是科技工作者的基本功之一，也是电路分析基础课程的重要教学内容。《电路分析实验教程》是电子信息类、控制类专业的基础实验教程，与电路基础和电路分析基础课程相互支撑又相对独立。根据教育部颁发的高等工科院校电路课程基本教学要求和教学大纲要求，《电路分析实验教程》教材实验内容按照理论课程教学内容编排，在总结长期实验教学经验的基础上，结合电路分析现代技术发展，经过几批实验指导教师努力，不断积累、修改和完善而成。

《电路分析实验教程》共4章，分三部分。

第一部分涵盖第1章，以 Multisim10.0 为例简单介绍电子工作平台的使用过程。第二部分涵盖第2章到第4章，从内容上划分为三个层次：第2章为电路基础实验内容，为第一个层次内容，主要针对电路分析基础理论验证，加深学生对理论知识的认识与掌握；第二层次内容为综合性实验，章节编排在第3章，目的是培养学生对理论知识的综合分析应用能力；第三层次内容为设计性实验，章节编排在第4章，根据电路基础与电路分析基础课程的开设时间，同时结合简单电路的实际应用而设，主要目的是通过实验设计，提高学生的专业学习兴趣，培养学生深入理解电子系统中简单电路的原理、特性及应用，锻炼学生自主完成实验内容及实验过程的设计，提高学生分析问题和解决问题的科技创新能力。第三部分为附录部分，简单介绍几种常用电路实验设备的原理组成及使用方法。

与同类教材相比，本书具有以下特色：

(1) 基础性实验内容按照电路分析的学习和应用特点进行编排，实验内容分层次设置，同时将实际电路模型，实际应用电路融入到实验模块，帮助学生巩固和加深理解电路理论相关知识，通过正确选用实验方法、进行科学实验环节训练，培养学生理论联系实际的能力。

(2) 将 EDA 技术融入教材，努力反映现代电子技术的新技术、新成果，使教材尽可能跟上现代技术的新发展，同时扩展实验空间，弥补硬件实验条件有限的不足。

(3) 配套素材丰富。针对本教材配套了相应的电子教案、教学课件及实验录像。

本书可作为大学本科、专科电子、信息类专业电路基础和电路分析基础课程的实验指导书。

本书为长春理工大学规划教材，由许红梅、刘妍妍、张瑜等编写。本书第1章由许红梅、刘妍妍执笔，第2章由张瑜、刘妍妍执笔，第3章由许红梅、刘妍妍执笔，第4章由张瑜、许红梅执笔。吴戈、赵海丽，刘云荣、韩春玲等参与编写第2章以及附录，吴戈、刘云荣、韩春玲、杨波等参与本书的电路分析设计、仿真、教学课件编写及实验录像等工作。

感谢长春理工大学电工电子实验教学中心同仁的大力支持。本书在编写过程中，承蒙刘树昌教授等的大力支持与帮助，在此表示感谢！

由于编者水平所限，书中不妥之处在所难免，诚请广大读者指正。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 电子工作平台 EWB	1
1.1 EWB 仿真软件概述	1
1.1.1 EWB 工作平台的主要特点	1
1.1.2 EWB 的结构	2
1.2 Multisim 10.0 的基础知识	3
1.2.1 Multisim 10.0 的基本界面	3
1.2.2 工具栏	11
1.3 Multisim 10.0 的基本操作	12
1.3.1 操作实例 1: 简单电阻电路的设计与分析	12
1.3.2 操作实例 2: 高通滤波器电路的设计与分析	17
1.4 Multisim 10.0 的元器件库	20
1.5 虚拟测量仪器	26
第 2 章 电路基础性实验	30
实验一 万用表的使用及其测量误差研究	30
实验二 基尔霍夫定律	36
实验三 叠加原理	39
实验四 简单电阻电路的仿真分析与设计	43
实验五 戴维南定理与诺顿定理	45
实验六 运算放大器的受控源等效模型	51
实验七 含有受控源的电路研究	58
实验八 动态电路的分析与设计	62
实验九 简单正弦交流电路的研究	64
实验十 RC 选频网络特性测试	69
实验十一 无源滤波器	72
实验十二 互感线圈的研究	76
实验十三 双口网络参数的研究	80
第 3 章 综合性及其仿真实验	85
实验一 最大功率传输定律的研究	85

实验二	正弦交流电路功率因数的提高	87
实验三	RLC 串联电路的幅频特性与谐振现象	90
实验四	负阻抗变换器	95
实验五	回转器	98
实验六	有源滤波器	103
第 4 章	设计性实验	108
实验一	电阻式温度计设计	108
实验二	基于 555 的波形发生器	109
实验三	波形变换器的设计、制作和测试	110
实验四	简易电容降压式电源	112
实验五	音响音调调节器	114
实验六	简易门铃设计	115
实验七	移相器的设计与测试	116
附录 A	常用电子仪器介绍	121
A.1	数字万用表	121
A.2	直流稳压电源 (YB1732A)	131
A.3	函数信号发生器 (YB1600)	134
A.4	毫伏表 (YB2173F)	139
A.5	示波器 (DS1052E 带 USB)	141
A.6	示波器 (DS5102CA)	148
参考文献		152

第 1 章 电子工作平台 EWB

EDA 工具层出不穷，目前具有广泛影响的 EDA 软件有：EWB、PSPICE、PCAD、Protel、MATLAB、Viewlogic、Mentor、Graphics、Synophics、Cadence 等，其中大部分软件都同时具有原理图设计、仿真和 PCB 制作功能。用于电子电路仿真的 EDA 软件包括 PSPICE、EWB、MATLAB、SystemView、MMICAD 等。应用仿真软件参与设计，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；在虚拟环境下完成设计和分析，不仅提高了电路设计分析的灵活性，而且可以提高产品开发效率。本书以 EWB 仿真软件 Multisim 10.0 为例介绍电子工作平台在电路设计和电路分析中的应用。

1.1 EWB 仿真软件概述

电子工作平台（Electronics WorkBench, EWB）是由加拿大 IIT（Interactive Image Technologies）公司在 20 世纪 90 年代初推出的专门用于电子电路设计与仿真的软件，又称为“虚拟工作台”，主要用于模拟和数字电路的仿真。从 EWB 6.0 版本开始，将专门用于电力仿真与设计模块更名为 Multisim，意为“万能仿真”。相对于其他 EDA 软件，它更多地提供了万用表、示波器、信号发生器等各种虚拟仪器，从而使得电路分析过程虚拟化更加完善。

1.1.1 EWB 工作平台的主要特点

EWB 具有众多的优点，其中主要有以下几个方面：

（1）兼容性能优良。在 Electronics Workbench 中所创建电路中的元器件与其他电子线路分析程序完全兼容，如 PSPICE，它们之间可以相互转换；而且在该软件下创建的电路可以直接输出到常见的印制线路板排版软件，如 Protel，自动排出印制电路板。

（2）界面直观，易学易懂。Electronics Workbench 可视化的人机交互界面，使得拥有一定电子技术的人员可以很轻松地在短时间内学会它的基本操作。并且在 EWB 软件中所用到的器件及仪器都和实际器件和仪器的外形相近。

（3）输出方式灵活。在进行电路仿真的同时，Electronics Workbench 可以记

录存储测试点的所有数据, 列出被仿真电路的元件清单, 以及存储测试仪器的的工作状态, 显示波形及数据等。

(4) 比较丰富、灵活的元器件库。Electronics Workbench 的元器件库不仅提供了数千种电子元件, 而且还提供了各种元件的参考参数, 用户可以很方便地进行元件参数的调整; 同时, 用户还可以根据自己的需要创建或扩充元器件库。

(5) 采用图形输入的方式创建电路。克服了电路仿真时文本输入的麻烦。在 EWB 中是利用图形输入的方式来创建电路, 以系统中的虚拟仪器对电路进行测试分析, 分析结果可以用图形和数据两种形式给出, 使电路设计和分析的过程更简洁、直观。

(6) 可以设置各种电路故障进行电路仿真分析。例如开路、短路和漏电等。

(7) 电路分析方法众多。在 Electronics Workbench 中不仅对电路可以进行暂态、稳态分析、时域和频域分析、线性和非线性分析、噪声和失真分析等常规分析, 而且还可以对电路进行零点和极点分析、容差分析等。可以对一个所设计的电路进行多方面的了解, 从而使设计者设计的电路性能更加优良。

(8) 具有完整的混合模拟和数字信号模拟功能。可以任意地在系统中集成数字和模拟元件, 会自动的进行信号转换。

因此, EWB 软件非常适合于对电路的基础分析和设计, 在电路分析等课程的教学和实验中, 具有非常优良的性能。但是, EWB 还是一个比较基本的分析软件, 在电路的进一步分析上, 它没有 PSPICE 软件细致, 它在测量电路的输入阻抗, 输出阻抗以及观察电路的支路电流波形等方面还不是很方便; 而对于电路的设计, EWB 还不能像 VHDL 语言在 CPLD 设计中那样直接跨越到真实电路的设计中。

1.1.2 EWB 的结构

EWB 软件由五部分组成: 输入模块、器件模型处理模块、分析模块、虚拟仪器模块、后续处理模块。各部分功能如下:

(1) 输入模块。用户以图形方式输入电路图。

(2) 器件模型处理模块。EWB 软件提供了丰富的原件库, 并且可以对元器件属性进行编辑, 还可以创建新的元件。

(3) 分析模块。EWB 软件的分析方法比较丰富, 共有近 20 种分析方法。除了具有 Spice 的基本分析方法外, 还有一些独有的分析方法, 如零极点分析等。

(4) 虚拟仪器模块。虚拟仪器模块是 EWB 软件最有特色的部分。虚拟仪器种类多, 使用操作方便。

(5) 后续处理模块。后续处理模块可以进行电路分析结果的后续处理, 包括与多种软件的转换。

其中分析模块和虚拟仪器模块构成了强大的分析与仿真功能。

下面主要以 Multisim 10.0 版本为例介绍其工作过程。

1.2 Multisim 10.0 的基础知识

1.2.1 Multisim 10.0 的基本界面

1. 主界面

Multisim 10.0 的主界面如图 1.2-1 所示, 从图可以看到, 它是一个非常友好的人机交互环境。Multisim 10.0 的用户界面主要由菜单栏 (Menu Bar)、标准工具栏 (Standard Toolbar)、应用元件列表 (In Use List)、仿真开关 (Simulation Switch)、图形注释工具栏 (Graphic Annotation Toolbar)、项目栏 (Project Bar)、元件工具栏 (Component Toolbar)、虚拟工具栏 (Virtual Toolbar)、电路窗口 (Circuit Windows)、仪器仪表工具栏 (Instruments Toolbar)、电路标签 (Circuit Tab)、状态栏 (Status Bar) 和电路元件属性窗口 (Spreadsheet View) 等组成。

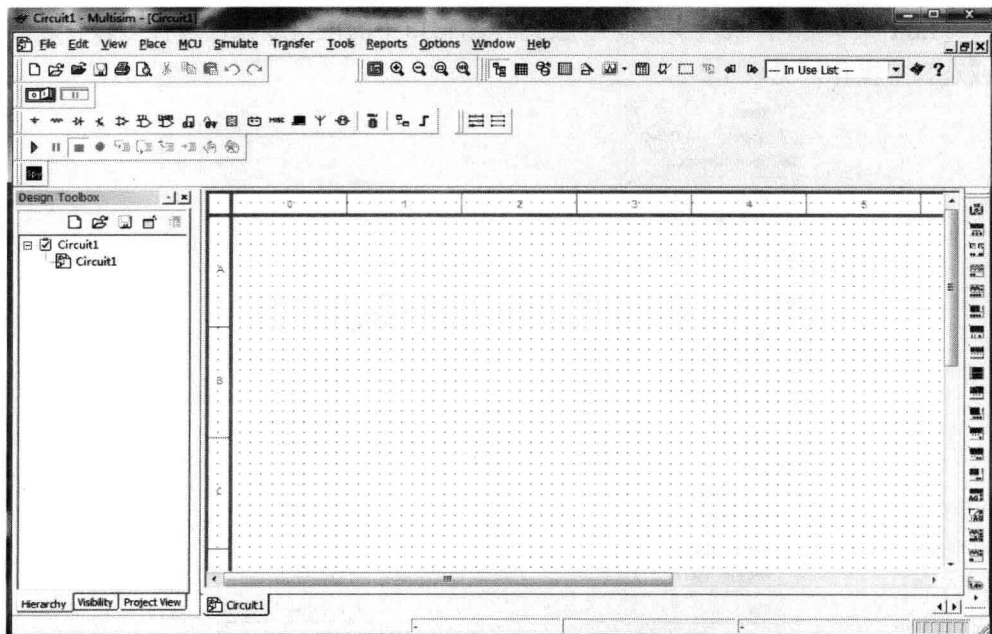


图 1.2-1 Multisim 10.0 的主界面

2. 菜单栏

与其他 Windows 应用程序相似, Multisim 10.0 软件的菜单栏提供了绝大多数的功能命令, 如图 1.2-2 所示。

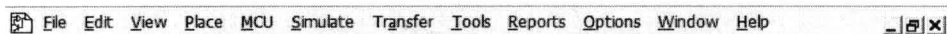


图 1.2-2 菜单栏

菜单栏从左向右依次是文件菜单 (File)、编辑菜单 (Edit)、窗口显示菜单 (View)、放置菜单 (Place)、微控单元菜单 (MCU)、仿真菜单 (Simulate)、文件输出菜单 (Transfer)、工具菜单 (Tools)、报告菜单 (Reports)、选项菜单 (Options)、窗口菜单 (Window) 和帮助菜单 (Help), 共 12 个主菜单。

菜单中有一些与大多数 Windows 平台上的应用软件一致的功能选项, 如 File、Edit、View、Options、Help 等。此外, 还有一些 EDA 软件专用的选项, 如 Place、MCU、Simulate、Transfer、Tools 等。下面分别进行介绍。

(1) File 菜单

文件菜单用于 Multisim 10.0 所创建的电路文件的管理, 如图 1.2-3 所示。其命令与 Windows 下的其他应用软件基本相同, 见表 1.2-1。

(2) Edit 菜单

Edit 菜单如图 1.2-4 所示, 主要对电路窗口中的电路或原件进行删除、复制或选择等操作, 见表 1.2-2。

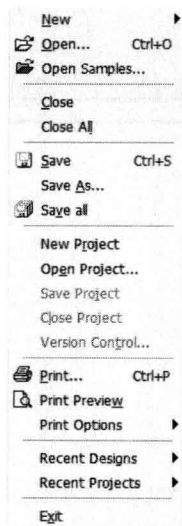


图 1.2-3 File 菜单

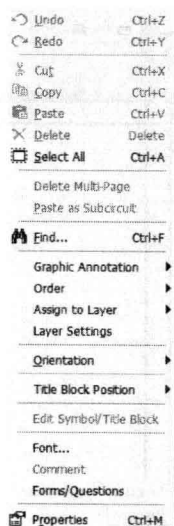


图 1.2-4 Edit 菜单

表 1.2-1 File 菜单命令与功能

命令	功能	命令	功能
New	建立新文件	Save Project	保存当前项目
Open...	打开文件	Close Project	关闭项目
Open Samples...	打开实例	Version control...	版本控制
Close	关闭当前文件	Print...	打印
Close All	关闭所有文件	Print Preview	打印预览
Save	保存	Print Options	打印操作
Save As...	另存为	Recent Designs	最近打开的电路图文件
Save all	保存所有文件	Recent Projects	最近打开的工程项目文件

表 1.2-2 Edit 菜单命令与功能

命令	功能	命令	功能
Undo	撤销编辑	Order	叠放顺序
Redo	重复	Assign to Layer	指定层
Cut	剪切	Layer Settings	设置层
Copy	复制	Orientation	方向调整
Paste	粘贴	Title Block Position	编辑与电路有关的问题
Delete	删除	Edit Symbol/Title Block	编辑符号/标题模块
Select All	全选	Font...	字体设置
Delete Multi-Page	删除多页	Comment	表单编辑
Paste as Subcircuit	作为子电路粘贴	Forms/Questions	编辑与电路有关的问题
Find...	查找	Properties	打开属性对话框
Graphic Annotation	图形注释选项		

(3) View 菜单

View 菜单如图 1.2-5 所示, 用于显示或隐藏电路窗口的某些内容 (如工具栏、栅格、纸张边界线等), 见表 1.2-3。

(4) Place 菜单

Place 菜单如图 1.2-6 所示, 用于在电路窗口中放置元件、节点、总线、文本或图形等, 见表 1.2-4。

(5) MCU 菜单

MCU 菜单如图 1.2-7 所示, 用于对微控制单元进行控制等功能, 见表 1.2-5。

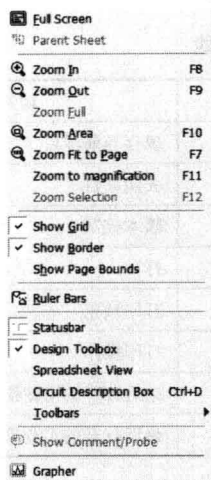


图 1.2-5 View 菜单

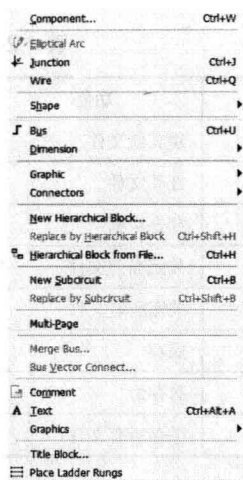


图 1.2-6 Place 菜单

表 1.2-3 View 菜单命令与功能

命令	功能	命令	功能
Full Screen	全屏	Show Page Bounds	显示图纸边界
Parent Sheet	显示子电路	Ruler Bars	显示标尺
Zoom In	放大显示	Statusbar	显示状态栏
Zoom Out	缩小显示	Design Toolbox	显示设计管理窗口
Zoom Area	放大所选区域	Spreadsheet View	显示数据表格栏
Zoom Fit to Page	按页放大	Circuit Description Box	电路设计窗口
Zoom Selection	按中心放大	Show Comment/Probe	显示/隐藏工具栏
Show Grid	显示栅格	Grapher	绘图器
Show Border	显示电路边界		

表 1.2-4 Place 菜单命令与功能

命令	功能	命令	功能
Component...	元器件	Replace by Subcircuit	子电路替代
Junction	连接点	Multi-Page	产生多层电路
Wire	导线	Merge Bus...	合并总线矢量
Bus	总线	Bus Vector Connect...	放置总线矢量连接
Connectors	连接器	Comment	放置提示注释
New Hierarchical Block...	新层次模块	Text	放置文本
Replace by Hierarchical Block	层次模块替换	Graphics	放绘图工具
Hierarchical Block form File...	从文件获取层次模块	Title Block...	放置一个标题栏
New Subcircuit	新子电路		

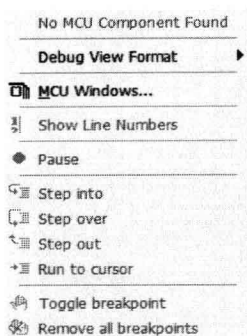


图 1.2-7 MCU 菜单

表 1.2-5 MCU 菜单命令与功能

命令	功能
No MCU Component Found	无微控元件
Debug View Format	调试
MCU Windows...	微控单元窗口
Show Line Numbers	显示行数
Pause	暂停
Step into	执行
Step over	跳过
Step out	停止
Run to cursor	执行至光标处
Toggle breakpoint	设置断点
Remove all breakpoints	恢复所有断点

(6) Simulate 菜单

Simulate 菜单如图 1.2-8 所示，主要用于仿真的设置与操作，见表 1.2-6。

(7) Transfer 菜单

Transfer 菜单如图 1.2-9 所示，用于将 Multisim 10.0 的电路文件或仿真结果输出到其他应用软件，见表 1.2-7。

(8) Tools 菜单

Tools 菜单如图 1.2-10 所示，用于编辑或管理元件库或元件，见表 1.2-8。

(9) Report 菜单

Report 菜单如图 1.2-11 所示，用于产生当前电路的各种报告，见表 1.2-9。



图 1.2-8 Simulate 菜单

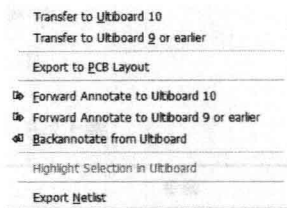


图 1.2-9 Transfer 菜单

表 1.2-6 Simulate 菜单命令与功能

命令	功能	命令	功能
Run	运行	XSpice Command Line Interface	XSpice 命令行
Pause	暂停	Load Simulation Settings...	加载仿真设置
Stop	停止	Save Simulation Settings	保存仿真设置
Instruments	虚拟仪器	Auto Fault Option	自动设置电路故障选项
Interactive Simulation Settings...	交互仿真设置	VHDL Simulation	VHDL 仿真
Digital Simulation Settings...	设置数字仿真参数	Dynamic Probe Properties	探针属性设置
Analyses	选用各项分析功能	Reverse Probe Direction	交换探针方向
Postprocessor...	启用后处理	Clear Instrument Data	清除仪器数据
Simulation Error Log/Audit Trail	仿真错误报告	Use Tolerances	允许误差

表 1.2-7 Transfer 菜单命令与功能

命令	功能
Transfer to Ultiboard 10	传送到 Ultiboard 10
Transfer to Ultiboard 9 or earlier	传送到 Ultiboard 9 或更早版本
Export to PCB Layout	导出到其他 PCB 制图软件
Forward Annotate to Ultiboard 10	将 Multisim 10 中的元件注释改变传送到 Ultiboard 10
Forward Annotate to Ultiboard 9 or earlier	将 Multisim 10 中的元件注释改变传送到 Ultiboard 9 或更早版本
Backannotate from Ultiboard	将 Ultiboard 10 中的元件注释改变传送到 Multisim 10
Highlight Selection in Ultiboard	对 Ultiboard 电路中所选元件以高亮显示
Export Netlist	将电路图文件导出为 Spicewang 网表文件 (*.cir)

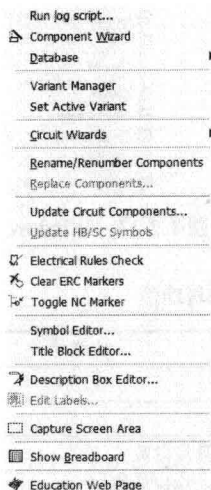


图 1.2-10 Tools 菜单

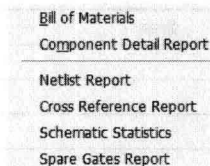


图 1.2-11 Report 菜单

表 1.2-8 Tools 菜单命令与功能

命令	功能	命令	功能
Component Wizard	元器件向导	Electrical Rules Check	电气规则检查
Database	数据库	Clear ERC Markers	清除 ERC 标志
Variant Manager	变量管理器	Toggle NC Marker	更换 NC 标志
Set Active Variant	设置活动变量	Symbol Editor...	符号编辑器
Circuit Wizards	电路编辑向导	Title Block Editor...	标题栏编辑器
Rename/Renumber Components	重命名元器件	Description Box Editor...	电路描述编辑器
Replace Components...	置换元器件	Edit Labels...	编辑标签
Update HB/SC Symbols	更新子电路模块		

表 1.2-9 Report 菜单命令与功能

命令	功能	命令	功能
Bill of Materials	元件清单	Cross Reference Report	参考报告
Component Detail Report	元件详细报告	Schematic Statistics	原理图统计表
Netlist Report	网络表报告	Spare Gates Report	剩余门报告

(10) Options 菜单

Options 菜单如图 1.2-12 所示, 用于定制电路的界面和某些功能的设置, 见表 1.2-10。

(11) Window 菜单

Window 菜单如图 1.2-13 所示, 用于控制 Multisim 10.0 窗口显示的命令, 并列出所有被打开的文件, 见表 1.2-11。