

21世纪高等院校教材

电子设计自动化实践指南系列 ● ● ●

# 电子系统 仿真分析教程

于 枫 张建新 王秀成 编著

 科学出版社  
www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

# 电子系统仿真分析教程

于 枫 张建新 王秀成 编著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书是电子设计自动化实践指南系列教材之一。电子系统的仿真分析技术是电子设计工程的一种重要手段。EWB 软件为电子工程师构建了功能完善的虚拟实验室;MATLAB 为电子电气工程技术人员提供了可由曲线或三维曲面输出(或显示)结果的科学运算工具。

本书分上、下两篇。上篇介绍了 EWB 的基本操作,元器件及虚拟仪器的基本概念和应用方法以及应用 EWB 进行电子电路仿真分析的实用技术。下篇介绍了 MATLAB 的编程语言及其基本操作方法,详尽介绍了 MATLAB 在电子电路仿真分析和数字信号处理运算课题方面的应用技术技巧。全书图文并茂,内容易于理解。书中全部实例都经过作者在计算机上运行校验,内容详实,有较高的参考价值。

本书可作为电子信息类各专业的本、专科学生学习仿真分析技术的教材和实践参考书,也可供有关专业的研究生和工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

电子系统仿真分析教程/于枫,张建新,王秀成编著. —北京:科学出版社,2004

(21 世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-012636-X

I. 电… II. ①于… ②张… ③王… III. 电子系统-系统仿真-教材  
N. TN103

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 120918 号

---

策划编辑:马长芳/文案编辑:唐正必/责任校对:钟 洋

责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2004 年 1 月第一次印刷 印张: 15 3/4

印数: 1—3 000

字数: 304 000

定价: 25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

# 前 言

随着电子技术和计算机技术的发展,电子产品已与计算机紧密相连,电子产品的智能化日益完善,电路的集成度越来越高,而产品的更新周期则越来越短。电子设计自动化(EDA)技术,使得设计人员能在计算机上完成电路的功能设计、逻辑设计、性能分析、时序测试乃至印刷电路板的自动设计。顺理成章,掌握 EDA 技术是新一代电子工程师的基本功。

事实上,EDA 技术的掌握在很大程度上决定于若干 EDA 工具软件包的应用能力。EWB 和 MATLAB 是两个比较令人瞩目的 EDA 软件包,是电路与电子系统仿真分析中常用的软件。

电子工作平台 (Electronics Workbench, EWB) 软件是加拿大 Interactive Image Technologies 公司于 20 世纪 80 年代末、90 年代初推出的电子电路仿真的虚拟电子工作台软件,它具有诸多特点,如采用直观的图形界面创建电路;软件仪器控制面板的外形和操作方式都与实物相似,可以实时显示测量结果;带有丰富的电路元件库,能提供多种电路分析方法等。因此 EWB 是一个优秀的电子技术训练工具,利用它提供的虚拟仪器可以用比实验室中更加灵活的方式进行电路实验,仿真电路的实际运行情况,熟悉常用电子仪器测量方法。

MATLAB 语言具有高效、可视化及推理能力强等特点,是国内外高等院校中高等数学、数值分析、数字信号处理、自动控制理论及工程应用等课程的基础教学、实验仿真工具。本书下篇以 MATLAB 6.1 为编写基础,注重语言和应用相结合,列举了在电路、信号与系统等课程中的大量应用实例。这些内容丰富详实的实例使用了 MATLAB 中多方面的语句,可使读者迅速地掌握 MATLAB 编程的技巧,编写出高效的 MATLAB 代码。

由于上述软件尚未实现国产化,某些元件的图及其中符号与国标不符。为“体现手把手教你学”的风格,本书对软件所生成的电路及其中的符号不做修正,出现在程序中的符号及拼写也沿用程序的原状。为避免读者误解,特此说明。

本书是吉林大学“十五”教改建设规划项目之一,为使其满足我校电子信息类专业教改和课程建设的需要,同时将其敬献给同行和各界朋友,我们邀请了空军第二航空学院的老师参加了教材编撰工作。全书内容分为上、下两篇,分别介绍 EWB 和 MATLAB 的应用技术。本书既可作为大专院校电子类课程的教材,也可作为电子爱好者自学 EWB 软件及 MATLAB 语言的参考书。其中上篇由于枫、王秀成编

撰,下编由张建新同志负责编撰。王秀成同志为撰写书稿及收集资料做了大量工作。本书在编写过程中,得到了吉林大学的同行和领导多方面的帮助和支持,笔者在此一并感谢。

由于作者水平有限,时间仓促,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

作者

2003年10月

# 目 录

## 上篇 EWB 应用

<b>第一章 电子工作台概述</b> .....	1
1.1 电子工作台(EWB) .....	1
1.2 系统要求 .....	2
1.3 软件安装 .....	3
<b>第二章 EWB 的基本操作</b> .....	5
2.1 EWB 的主窗口.....	5
2.2 电路的创建与运行.....	15
2.3 仪器的使用.....	23
<b>第三章 元器件库及虚拟仪器</b> .....	24
3.1 元器件库介绍.....	24
3.2 信号源库(Sources) .....	24
3.3 基本元件库(Basic) .....	30
3.4 二极管库(Diodes) .....	34
3.5 晶体管库(Transistors).....	36
3.6 模拟集成电路库(Analog ICs) .....	37
3.7 混合集成电路库(Mixed ICs) .....	39
3.8 数字集成电路库(Digital ICs) .....	40
3.9 逻辑门电路库(Logic Gates) .....	41
3.10 数字器件库(Digital) .....	41
3.11 指示部件库(Indicators) .....	42
3.12 控制部件库(Controls) .....	43
3.13 其他器件库(Miscellaneous) .....	49
3.14 新元器件库的建立 .....	53
3.15 库中元器件的删除 .....	54
3.16 库中元器件的重新命名 .....	54
3.17 元器件库的删除 .....	54
3.18 子电路的建立与使用 .....	55
3.19 将电路图文件转成 SPICE 网络表文件 .....	57
3.20 将电路图文件转换成 PCB 印刷电路板文件 .....	57

3.21	虚拟仪器的功能与使用 .....	57
3.22	数字万用表(Multimeter) .....	58
3.23	函数信号发生器(Function Generator) .....	58
3.24	示波器(Oscilloscope) .....	59
3.25	波特图仪(Bode Plotter) .....	64
3.26	字信号发生器(Word Generator) .....	66
3.27	逻辑分析仪(Logic Analyzer) .....	68
3.28	逻辑转换仪(Logic Converter) .....	71
<b>第四章</b>	<b>Electronics Workbench 分析方法</b> .....	<b>73</b>
4.1	EWB 仿真的基本过程 .....	73
4.2	分析方法的参数设置 .....	74
4.3	分析方法 .....	80
4.4	仿真中遇到的问题及解决办法 .....	106
4.5	仿真电路、仿真结果的存储 .....	107

## 下篇 MATLAB 应用

<b>第五章</b>	<b>MATLAB 语言概述</b> .....	<b>109</b>
5.1	MATLAB 简介 .....	109
5.2	MATLAB 语言的特点 .....	109
5.3	MATLAB 的工作环境 .....	110
<b>第六章</b>	<b>MATLAB 的基本操作</b> .....	<b>112</b>
6.1	变量 .....	112
6.2	矩阵的初等运算 .....	117
6.3	字符串函数 .....	121
6.4	MATLAB 常用数学函数 .....	128
6.5	关系和逻辑运算 .....	130
6.6	流程控制语句 .....	132
6.7	基本绘图 .....	135
6.8	M 文件和 M 函数 .....	143
6.9	MATLAB 的符号运算 .....	145
<b>第七章</b>	<b>MATLAB 的常用工具箱</b> .....	<b>151</b>
7.1	工具箱简介 .....	151
7.2	通用工具箱 .....	152
7.3	Simulink 动态仿真工具箱 .....	153
7.4	工具箱函数的查询方法 .....	157

---

<b>第八章 MATLAB 在电子电路中的应用</b> .....	158
8.1 电阻电路 .....	158
8.2 动态电路 .....	162
8.3 正弦稳态电路 .....	166
8.4 频率响应 .....	173
8.5 二端口网络 .....	177
8.6 小信号放大器 .....	180
<b>第九章 MATLAB 在信号与系统中的应用</b> .....	189
9.1 连续信号系统分析 .....	189
9.2 频谱与频率特性分析 .....	196
9.3 线性时不变系统的模型 .....	202
9.4 离散信号系统分析 .....	218
<b>参考文献</b> .....	225
<b>附录 EWB 名词索引</b> .....	226



# 上篇 EWB 应用

---

## 第一章 电子工作台概述

### 1.1 电子工作台(EWB)

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仿真和调试。其目的,一方面是为了验证所设计的电路是否能达到所要求的技术指标,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。以往的电路设计仿真,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,再对原设计的电路参数进行修正,直至达到设计提出的要求。这种方法由于受到工作场地、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。因此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 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)”软件,它可以将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应用。

与其他的电路仿真软件相比较,Electronics Workbench 具有界面直观、操作方便等特点,它改变了有些电路仿真软件采用文本方式输入电路的不便之处,使得创建电路,选用元器件和测试仪器等均可直接从屏幕图形中选取,而且测试仪器的图形与实物外形基本相似。实践证明,具有一般电子技术基础知识的人员,只要几个小时就能学会 Electronics Workbench 的基本操作,从而大大提高了电子设计工作的效率。

Electronics Workbench 是一种非常优秀的电子技术实用工具,因为要掌握电子技术,不仅需要理论知识,更重要的是要通过实际操作来加深对内容的理解。作为电子类相关课程的辅助教学和实训手段,它不仅可以弥补因实验仪器、元器件缺乏所造成的实验操作不够,而且排除了原材料消耗和仪器损坏等因素,可以帮助学生更快、更好地掌握课堂讲述的内容,加深对概念、原理的理解,弥补课堂理论教学的不足。通过电路仿真,可以使学生熟悉常用电子仪器的测量方法,培养学生的综

合分析能力,排除故障的能力和开发、创新能力。

Electronics Workbench 最明显的特点是,仿真手段切合实际,选用的元器件和仪器与实际情形非常相近。绘制电路图需要的元器件,电路仿真需要的仪器均可直接从屏幕上选取,而且仪器的操作开关、按键同实际仪器的极为相似,因此特别容易学习和使用。通过电路仿真,既掌握了电路的性能,又熟悉了仪器的使用方法。

Electronics Workbench 的元器件库不仅提供了数千种电路元器件,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。这对于验证电路原理,以及电子类课程的教学、实验来说都极为方便,同时也可以用来新建或扩充已有的元器件库,而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 软件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,而且还提供了离散傅里叶分析、电路零极点分析、交直流灵敏度分析和电路容差分析等共计 14 种电路分析方法,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,以观察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、显示波形和具体数据等。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,换句话说,两者之间可以互相转换。同时,在该软件下完成的电路文件,可以直接输出到常见的印刷电路板软件,如 PROTEL,ORCAD 和 TANGO 等软件,可以自动排出印刷电路板,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。

EWB 附有数量可观的常用实例电路,可供使用者参考,而且附有电路阐述、实验建议等说明。这些电路大都取自电子类杂志、教科书和实验室教材,使用者可以对这些电路进行仿真、修改、创新,进一步发挥各自的创造能力。

## 1.2 系统要求

随着计算机软件的飞速发展,特别是 Windows 操作系统软件的广泛流行,Electronics Workbench 也从 DOS 版发展成为可以 Windows 运行的版本。由于充分利用了 Windows 操作系统的许多优点,如直观的图形操作界面,软件的多任务同时运行等,使得 Electronics Workbench 软件的功能和运行性能得到了不断的完善和提高。目前 Interactive Image Technologies 公司已推出了 5.0 版本的软件。考虑到 5.0 版本的软件功能和元器件库已覆盖了 4.0 版本的内容,本书中将主要介

绍“Electronics Workbench 5.0 for Windows”版的安装和使用方法,为了叙述方便,除非特别说明,文中所讲的 EWB 均指 5.0 版本的软件。

### 1.2.1 Electronics Workbench 4.0 系统的安装、运行要求

(1) 安装 Electronics Workbench 4.0 至硬盘约占 6MB 的空间(指 EWB 专业版软件),当它运行在 Microsoft Windows 3.1/3.11/95(中、英文)操作系统时,要求安装 MS-DOS 3.0 或以上软件,与之兼容的鼠标,4MB RAM 及协处理器。

(2) 当该软件运行在 Microsoft Windows NT 操作系统下,要求安装 MS-DOS 3.0 或以上软件,与之兼容的鼠标,12MB RAM 和协处理器。

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 10MB,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。

### 1.2.2 Electronics Workbench 5.0 系统的安装、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,要求安装 486 以上微机,MS-DOS 3.0 或以上软件,与之兼容的鼠标和 8MB RAM。

(3) 当运行在 Microsoft Windows NT 操作系统下,要求安装 MS-DOS 3.0 或以上软件,与之兼容的鼠标和 12MB 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。

## 1.3 软件安装

Electronics Workbench 5.0 的安装,是基于 Windows 的操作界面之下,至于安装源是何种媒体,操作系统是 Windows 95 还是其他版本,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。

安装步骤如下：

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”,即可以把软件从软件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 根据屏幕提示信息进行安装: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接口上。

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。

## 第二章 EWB 的基本操作

### 2.1 EWB 的主窗口

启动 EWB,可以看到如图 2-1 所示的主窗口。

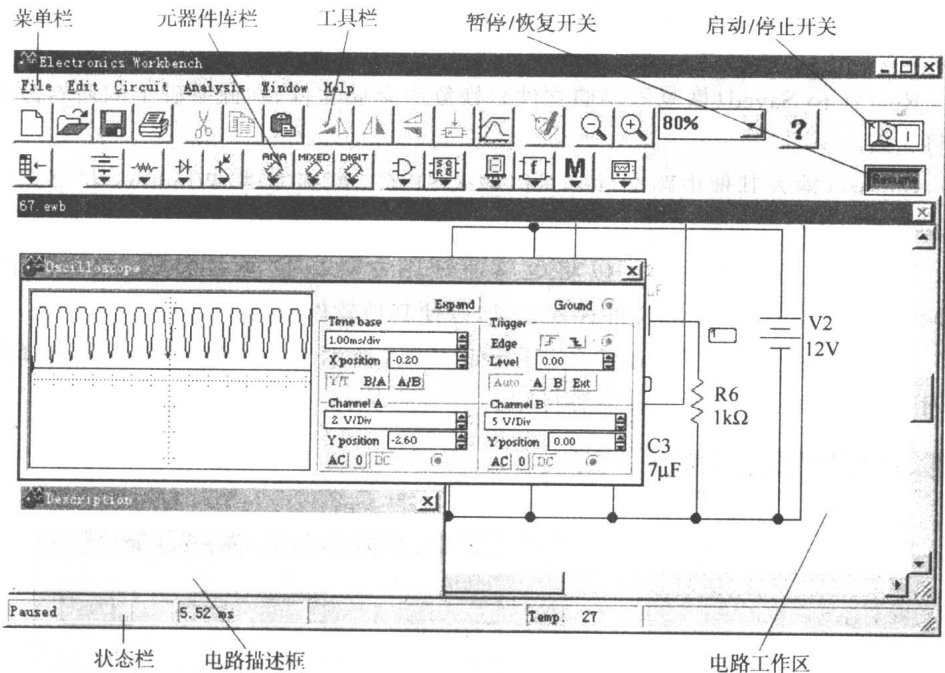


图 2-1 EWB 的主窗口

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,可用来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就展现在我们眼前。

### 2.1.1 界面(主窗口)菜单

界面(主窗口)菜单由文件、编辑、电路、分析、窗口、帮助等菜单组成。下面分别介绍各个菜单的组成。

#### (1) 文件菜单 File

用鼠标左键单击图 2-1 中 File 菜单,打开如图 2-2 所示的下拉菜单。

File 菜单的下级命令及功能如下:

New(新文件):建立一个新文件。

Open(打开文件):将已存盘的文件调入本软件中。

Save(存盘):将电路原理图存入磁盘。

Save As(换名存盘):将电路原理图换个名字存入磁盘。

Revert to Saved(恢复原存储文件):恢复原存储文件,在此基础上的所有改动都将无效。

Import(输入其他电路文件):可以输入 SPICE 网表文件(Windows 扩展名为 .NET 或 .CIR)并形成原理图。

Export(输出文件):可以将电路原理图文件以扩展名为 .NET, .SCR, .BMP, .CIR 或者 .PIC 的文件存入磁盘,以便其他软件使用。

Print(打印):单击 Print 命令,打开如图 2-3 所示的对话框,从中可以选择打印内容,也可以同时选择几项内容打印。

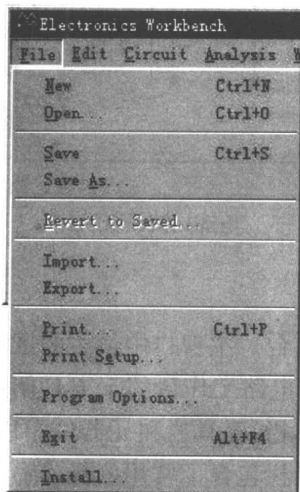


图 2-2 File 的下拉菜单

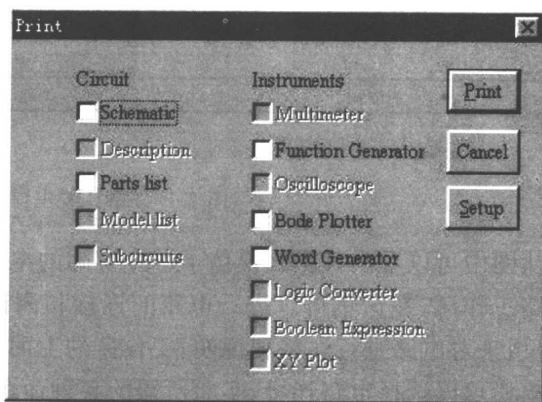


图 2-3 Print 对话框

Print Setup(打印机设置):其设置方法与 Windows 的设置方法相同。

Exit(退出):退出仿真系统软件。

Install(安装):安装有关文件。

### (2) 编辑菜单 Edit

编辑菜单中的剪切、拷贝、粘贴、删除、全选等项功能与 Windows 的基本功能相同,另外补充了位图拷贝方式及剪切板内容两项功能,这里不做详细注释,具体如图 2-4 所示。

Edit 菜单的下级菜单命令有:Cut(剪切)、Copy(拷贝)、Paste(粘贴)、Select All(全部选中)、Copy as Bitmap(以位图形拷贝到剪切板)和 Show Clipboard(显示剪切板内容)。

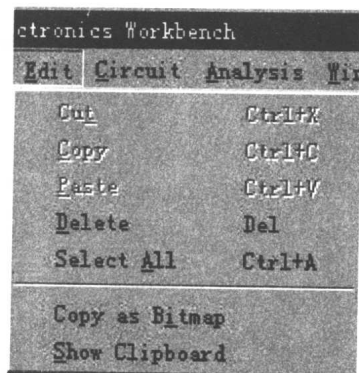


图 2-4 编辑菜单

### (3) 电路菜单 Circuit

电路菜单如图 2-5 所示,其中包括操作元件的命令,如旋转,水平、垂直翻转,还包括元件属性和形成子电路方面的命令。这些命令从字面上很容易理解,这里不做详细注释。

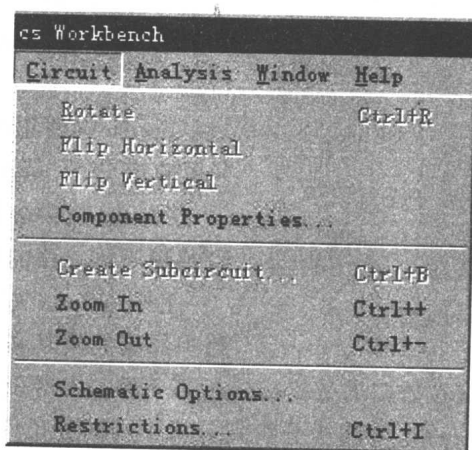


图 2-5 电路菜单

Circuit 菜单的下级菜单命令有:Rotate(旋转元器件)、Flip Horizontal(水平翻转元器件)、Flip Vertical(垂直翻转元器件)、Component Properties(元器件属性)、Create Subcircuit(创建子电路)、Zoom In(放大窗口)、Zoom Out(缩小窗口)和 Schematic Options(原理图选项)。

### (4) 分析菜单 Analysis

分析菜单用于设置电路的分析选项,如图 2-6 所示。

Activate(激活电路分析):相当于接通了电源开关(数字电路的开关可由字发生器接通)。

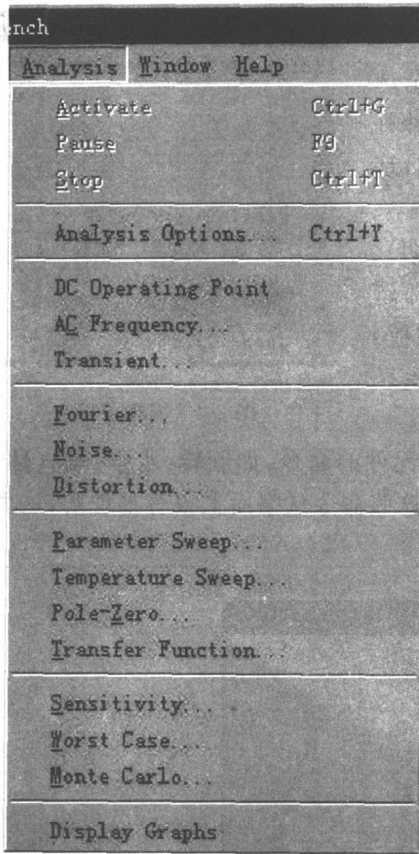


图 2-6 分析菜单

Parameter Sweep(参数扫描分析):分析某元件的参数变化对电路的影响。

Temperature Sweep(温度扫描分析):分析不同温度条件下的电路特性。

Pole-Zero(极零点分析):分析电路中极点、零点数目及数值。

Transfer Function(传递函数):分析源和输出变量之间的直流小信号传递函数。

Sensitivity(灵敏度分析):分析节点电压或支路电流对电路元件参数的灵敏度。

Worst Case(最坏情况分析):分析电路特性变化的最坏可能性。

Monte Carlo(蒙特卡罗分析):分析电路中元件参数在误差范围变化时对电路特性的影响。

Display Graphs(图形显示窗口):用于显示各种分析结果。对不同的分析,输出可以是图形或者是数据。

Pause(暂停分析):仿真暂停。

Stop(停止分析):选择该命令相当于关闭了电源开关。

Analysis Options(分析选择项):该命令设置有关分析计算和仪器使用方面的内容。一般电路仿真不需要设置,可选用默认值。当分析中出现不收敛问题时需重新设置。该选择包括 Global(通用设置卡)、DC(直流设置卡)、Transient(瞬态分析设置卡)、Device(器件设置卡)和 Instrument(仪器设置卡)。

DC Operating Point(直流工作点分析):分析显示直流工作点结果。

AC Frequency(交流频率分析):分析电路的频率特性。

Transient(瞬态分析):又称时域分析。

Fourier(傅里叶分析):分析时域信号的直流分量、基波分量和谐波分量。

Noise(噪声分析):分析电阻或晶体管的噪声对电路的影响。

Distortion(失真分析):分析电子电路中的谐波失真和内部调制失真。



### (5) 窗口菜单 Window

窗口菜单用于屏幕上显示窗口的安排等,如图 2-7 所示。

Window 菜单包括下列菜单命令:

Arrange(安排窗口):重排窗口内容。

Circuit(电路窗口):显示电路窗口内容。

Description(描述窗口):显示描述窗口内容。

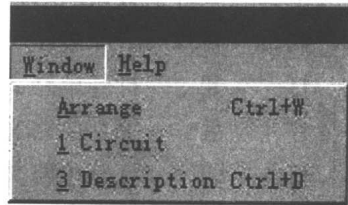


图 2-7 窗口菜单

### (6) 帮助菜单 Help

帮助菜单主要是为了向使用者提供帮助、指导,使使用者尽快掌握使用方法,如图 2-8 所示。

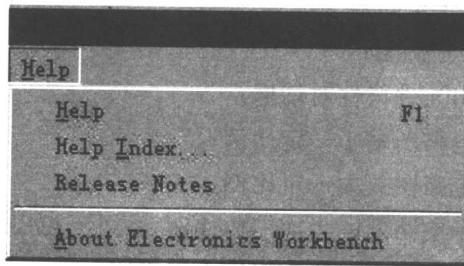


图 2-8 帮助菜单

Help 菜单包括下列菜单命令:

Help(帮助):用于获取实时在线帮助。

Help Index(帮助索引):提供帮助目录。

Release Notes(版本注解):提供注解目录。

About Electronics Workbench(版本说明):版本说明介绍。

## 2.1.2 EWB 的工具栏

图 2-9 给出了工具栏的简单标注。

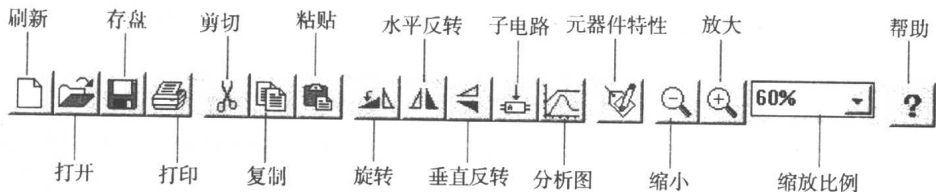


图 2-9 工具栏