

电子技术

EDA

实践教程

杨晓慧 许红梅 杨会玲 编著
李鸿祚 主审

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

电子技术 EDA 实践教程

杨晓慧 许红梅 杨会玲 编著
李鸿祚 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

电子技术 EDA 实践教程 / 杨晓慧等编著. —北京:
国防工业出版社, 2005. 1

ISBN 7-118-03771-0

I. 电... II. 杨... III. 电子电路—电路设计: 计
算机辅助设计—教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 004059 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19 $\frac{3}{4}$ 456 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 29.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

内 容 简 介

本书根据课堂教学和实验的要求,以提高分析问题和解决问题为目的,深入浅出地对 EDA 技术在电路分析、电子线路、脉冲数字电路及信号系统等课程中的应用做了系统和完整的介绍。

本书分为四篇共 9 章,通过大量的电路实例,详细地介绍了 EDA 软件(EWB、PSpice、MAX+PLUSII、MATLAB)的使用方法和应用技巧,并给出了综合应用实例和相应的实验。

本书可作为高等院校电类各专业和非电类部分专业的 EDA 课程的教材及实验指导书,也可作为相关专业技术人员的参考书。

前 言

随着大规模集成电路和电子计算机的迅速发展,电子电路的分析与设计方法发生了重大改革,电子设计自动化(EDA)技术改变了以定量估算和电路实验为基础的传统设计方法。EDA 仿真技术为用户提供了全功能、全频带的分析仪器平台,可以方便地实现系统结构或电路特性的模拟以及参数化设计,也就是说,EDA 仿真技术为提供虚拟电子实验室创造了必要条件。可编程逻辑器件(PLD)的开发和利用,为设计、开发电子产品大大地缩短了周期,从而降低了设计费用和投资风险。

本书分为四篇,结合了大量的电路分析实例,系统详细地介绍了 EWB、Pspice、MAX + PLUS II、MATLAB 的使用方法和应用技巧,使读者能深入理解电子系统中各部分电路的原理、特性及应用,提高分析问题和解决问题的能力,扩展知识面,掌握现代电路设计技术与方法,为今后从事集成电路和系统设计时,能正确使用和设计电路,更快地进入电子设计自动化领域,打下良好的基础。

第一篇内容为第 1 章,主要介绍了 EWB 软件对电路的仿真分析过程,并给出了具体实验内容;第二篇内容分为第 2 章、第 3 章、第 4 章和第 5 章,主要介绍了 Pspice 软件的编程技巧及在线性与非线性电子线路中的应用,并通过大量的实例仿真由浅入深地给出了电路的分析与设计过程;第三篇内容分为第 6 章、第 7 章和第 8 章,主要介绍了利用 MAX + PLUS II 软件对可编程逻辑器件的开发和应用,详细地讲述了 MAX + PLUS II 的使用方法和硬件描述语言 Verilog HDL 的编程方法,并给出了应用实例;第四篇内容为第 9 章,主要介绍了 MATLAB 软件在信号与系统中的应用,详细地讲述了 MATLAB 软件在信号与系统分析中的方法。

本书内容全面、取材新颖、叙述清楚,既可作为高等学校电类各专业本科生的教材和参考书,又可供电类工程技术人员用做入门读物和软件操作手册。在使用时,教师和读者可以根据自己的需要对有关内容加以组合和取舍。

本书由李鸿祚教授主审,第一、第四篇由许红梅编写,第二篇由杨晓慧编写,第三篇由杨会玲编写。

由于作者水平有限,书中可能出现错误与不足之处,恳请读者和同行批评指正。

编著者
2004 年 6 月

目 录

第一篇 EWB 在电路分析中的应用

第 1 章 EWB 在电路分析中的应用.....	2
1.1 EWB 工作软件介绍	2
1.1.1 EWB 工作平台简介	2
1.1.2 EWB 工作平台的主要特点	3
1.1.3 EWB 的环境要求	3
1.2 EWB 的基本界面	4
1.2.1 EWB 的主界面	4
1.2.2 EWB 的菜单栏	4
1.2.3 EWB 的工具条	8
1.2.4 EWB 的元器件库	9
1.3 EWB 的主要操作	17
1.3.1 电路的设计和仿真	17
1.3.2 元器件库中元器件的创建和删除	19
1.4 EWB 中虚拟仪器介绍	20
1.4.1 数字万用表	20
1.4.2 示波器	21
1.4.3 函数信号发生器	22
1.4.4 波特图绘图仪	22
1.5 电路设计及分析流程	23
1.5.1 创建电路图	23
1.5.2 运用虚拟仪器观察实验结果	25
1.6 电路分析参考实验	27

第二篇 Pspice 在电子线路中的应用

第 2 章 Pspice 编程入门.....	42
2.1 Pspice 的组成及分析步骤.....	42
2.2 电路描述	44
2.2.1 节点、元件单位及元件描述的首字母	44
2.2.2 常用无源器件的描述	45
2.2.3 电源的描述	48

2.2.4	半导体器件的描述	51
2.3	分析指令	58
2.3.1	直流分析指令	58
2.3.2	交流分析指令	62
2.3.3	瞬态分析(.TRAN)指令	63
2.3.4	傅里叶分析(.FOUR)指令	64
2.3.5	通用参数扫描分析(.STEP)指令	66
2.3.6	蒙特卡洛分析(.MC)指令	67
2.3.7	温度分析(.TEMP)指令	69
2.3.8	噪声分析(.NOISE)指令	69
2.3.9	输出指令	69
2.3.10	其他功能描述语句	72
2.3.11	电路与库函数	74
第 3 章	线性电子线路的分析与设计	77
3.1	半导体二极管及电路	77
3.1.1	半导体二极管的参数及温度对其伏安特性的影响	77
3.1.2	半导体二极管的开关特性及限幅作用	79
3.2	双极型晶体管及电路	80
3.2.1	基区宽度调制效应对晶体管特性曲线的影响	80
3.2.2	共射放大电路的工作原理	82
3.3	场效应晶体管及电路	83
3.3.1	MOS 管的衬底效应及外加偏压对其转移特性和输出特性的影响	83
3.3.2	MOS 管的放大作用	85
3.4	晶体管模拟集成电路中的基本单元电路	86
3.4.1	三种组态基本放大电路	86
3.4.2	差动放大电路	91
3.4.3	多级放大电路及组合放大单元	96
3.5	MOS 模拟集成电路中的基本单元电路	100
3.5.1	单级 CMOS 放大电路	101
3.5.2	CMOS 差动放大电路	103
3.6	反馈放大电路	105
3.6.1	负反馈放大电路的分析与计算	105
3.6.2	负反馈放大电路的稳定性及相位补偿	110
3.7	集成运算放大器及基本应用电路	115
3.7.1	有源积分电路	115
3.7.2	电压比较器	118
第 4 章	非线性电子线路的分析与设计	126
4.1	正弦波振荡电路	126
4.1.1	LC 振荡器	126

4.1.2	RC 振荡器	131
4.1.3	石英晶体管振荡器	133
4.1.4	负阻振荡器	137
4.2	功率放大电路	139
4.3	直流稳压电源	142
4.4	谐振功率放大器	145
4.5	调制与解调电路	147
4.5.1	振幅调制电路	147
4.5.2	混频电路	149
4.5.3	鉴频电路	151
第 5 章	综合设计举例与实验	154
5.1	综合设计举例	154
5.2	实验	158

第三篇 CPLD/FPGA 的设计与应用

第 6 章	MAX+PLUS II 使用指南	170
6.1	MAX+PLUS II 的安装	171
6.1.1	推荐的系统配置	171
6.1.2	MAX+PLUS II 的安装	171
6.2	基于 MAX+PLUS II 的设计	173
6.2.1	建立一个新项目	173
6.2.2	设计输入	174
第 7 章	Verilog HDL 基础知识	192
7.1	硬件描述语言 (HDL) 概述	192
7.1.1	使用硬件描述语言的必要性	192
7.1.2	Verilog HDL 硬件描述语言的发展历程	192
7.1.3	Verilog HDL 语言的主要能力	192
7.2	程序基本结构	193
7.2.1	模块	193
7.2.2	逻辑功能的几种基本描述方法	195
7.3	Verilog HDL 语言要素	196
7.3.1	标识符	197
7.3.2	关键字	197
7.3.3	格式	197
7.3.4	注释	198
7.3.5	数字与字符串	198
7.3.6	数据类型	200
7.3.7	参数	203
7.3.8	运算符及表达式	203

7.4 语句	206
7.4.1 赋值语句	206
7.4.2 条件语句	208
7.4.3 循环语句	210
7.4.4 过程语句	211
7.4.5 编译预处理语句	213
7.4.6 语句的顺序执行与并行执行	214
7.5 系统任务和系统函数	214
第8章 CPLD/FPGA 在数字系统设计中的应用	217
8.1 常用组合逻辑电路模块的设计	217
8.2 常用时序电路模块的设计	222
8.3 4人电子优先抢答器设计	232
8.4 智能交通灯控制器设计	235
8.5 4×4 矩阵键盘控制器设计	241
8.6 全自动电梯控制器设计	246
8.7 动态目标发生器设计	271

第四篇 MATLAB 在信号系统分析中的应用

第9章 MATLAB 基础知识	280
9.1 MATLAB 语言概述	280
9.1.1 MATLAB 语言的特点	280
9.1.2 MATLAB 命令的结构	281
9.1.3 MATLAB 的库函数	281
9.1.4 MATLAB 命令的执行	281
9.1.5 数据的输入和结果输出	282
9.1.6 环境参数	282
9.1.7 命令与文件的编辑和建立	282
9.2 MATLAB 的基本语法	284
9.2.1 基础知识	284
9.2.2 向量	286
9.2.3 数组运算	287
9.2.4 数学函数	287
9.3 绘图	288
9.3.1 X—Y 绘图	289
9.3.2 图线形式和颜色	291
9.4 MATLAB 使用简介	291
9.5 交互式人机界面介绍	294
9.6 信号与系统参考实验	296
参考文献	307

第一篇

EWB 在电路分析中的应用

第 1 章 EWB 在电路分析中的应用

1.1 EWB 工作软件介绍

1.1.1 EWB 工作平台简介

通常我们在教学中所进行的电路分析实验,是在电路板上进行焊接、调试,然后利用电子测量仪器完成测量,以分析电路的一些工作特性。这样既费时费力,又造成了实验室消耗的增加。在实验过程中,往往由于学生对电子元器件不是很熟悉,或是对测量仪器不会操作,再加上一些实验设备本身的不稳定,使得学生大部分的时间都在忙于搭接电路和测试电路,没有足够的时间来分析电路的内在特性,而且对于同一个电路,当改变其不同参数而观察电路特性的改变时也不是很方便。另一方面,由于实验场所及实验设备的限制,有些实验不能进行。

从解决上述问题出发,目前在电子类实验方面已经出现了很多 EDA 设计、分析软件,利用虚拟的概念,在计算机上进行电路的分析、设计。20 世纪 80 年代末加拿大的 Interactive Image Technologies 公司就推出了一个专门用于电子电路仿真的虚拟工作平台 EWB(Electronics Workbench)软件。从事电子工程的工作人员可以利用这个虚拟工作平台对所设计的电路进行仿真和调试。一方面来验证所设计电路是否达到既定设计目标,另一方面,可以通过改变电路中的元器件参数,使得整个电路的电气性能更加完善。

目前,世界上很多大学已经将这种工作平台引入到了电子类课程的教学实验中。学习电子技术,不仅要掌握电子电路的工作原理和分析方法,更重要的应是在掌握原理的基础上,重点掌握对电路的分析、设计及开发应用。实验室的条件限制使得在学生实验课中无法进行各种电路的分析和设计。而利用 EWB 工作平台就可以绕过这个条件限制,只要在一台 PC 机上安装 EWB 软件,就仿佛拥有了一个电子实验室,在这里我们可以找到种类丰富的电子元器件以及多种先进的测量设备,从而为完成对多种电路的分析和设计工作做好了准备。接着,EWB 的使用者就可以在其中选择不同的器件及设备完成多种电路的分析和设计。这样不仅可以提高实验效率,而且还突出了实验教学以学生为中心的开放模式。当然,传统的实验手段也是必须的,但在先期的基础课程中运用计算机辅助分析还是具有许多的优点,不仅可以突破传统实验方法、实验条件的限制,而且还可以使学生有更多的时间去研究电路的基本原理,理解电路的一些特性,在此基础之上,使学生可以发挥自己的想象,独立完成一定的开放性电路设计,对提高学生独立发现问题、分析问题和解决问题的能力具有很好的辅助作用。

1.1.2 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 EWB 中所创建的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；而且该软件下创建的电路可以直接输出到常见的印制电路板排版软件，如“Protel”，自动排出印制电路板。

(2) 界面直观，易学易懂 EWB 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与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，EWB 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 EWB 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器件参数的调整；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 利用该软件可以设置各种电路故障来进行电路仿真分析，例如开路、短路和漏电等。

(7) 电路分析方法众多 在 EWB 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，系统会自动地进行信号转换。

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 软件更细致，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。

1.1.3 EWB 的环境要求

EWB 是在 Windows 系统上的应用软件，必须在 Windows 环境中运行。一般的配置如下：

- IBM PC 兼容机；
- Windows 95/NT 以上版本的操作系统；
- 586/133MHz 以上的 CPU；
- 16MB 以上内存及 20MB 以上硬盘空间。

只要运行软件包中的 setup.exe 文件即可方便地在界面提示下完成 EWB 的安装。

1.2 EWB 的基本界面

1.2.1 EWB 的主界面

EWB 的主要操作界面如图 1-1 所示，我们可以看到，它是一个非常友好的人机交互环境。

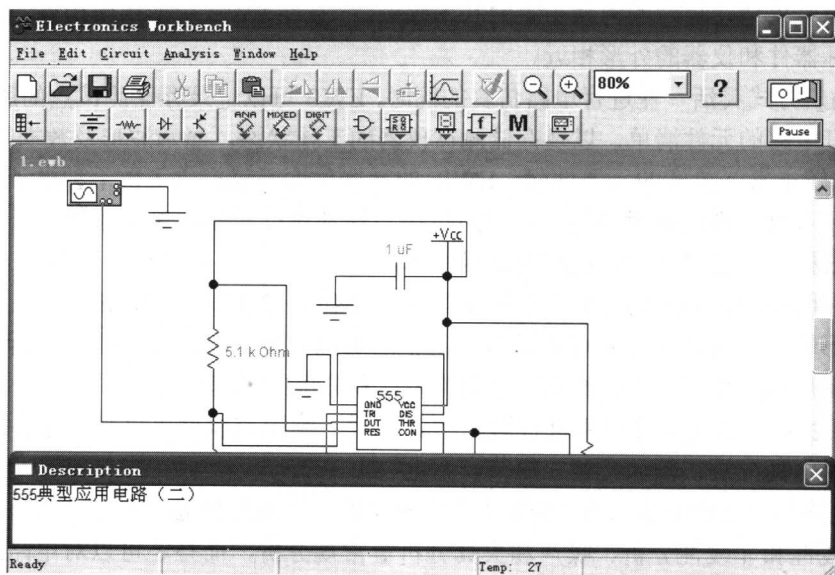


图 1-1 EWB 主界面

启动 EWB 后，我们打开一个已经存在的电路设计文件 1.EWB，就会出现如图 1-1 所示的主界面。主窗口自上到下分别为菜单栏、工具栏、元器件库栏、电路设计窗口、电路描述窗口、状态栏这几部分功能界面；在主窗口的右上角还有两个按钮：测量启动/停止开关  (其中“0”为停止开关，“1”为启动开关)和暂停按钮 。用户只要在电路设计窗口中设计出所需电路，按下启动开关就可以开始对电路的仿真分析。在设计电路和创建电路图时，用户可以从菜单栏选择创建电路所需的各种命令，从工具栏选择在操作过程中所需要的各种命令；用户还可以在元器件库中选择设计电路所需要的各种元器件以及仿真测量时所需要的各种测量虚拟仪器。在电路描述窗口(Description)中，用户可以对所创建的电路给出简单的功能叙述。当在电路设计窗口创建好自己的电路之后，双击设计窗口上的测量仪器图标，用鼠标点击“开始”开关，用户便可以看到电路的输出参数；需要对参数进行记录分析时，可以按下“暂停”按钮以便于观察。

1.2.2 EWB 的菜单栏

EWB 的菜单栏包括 File、Edit、Help、Windows 和 Analysis，其中前四个菜单项的功能与其他软件功能相似，在这里不再叙述。EWB 的 Analysis 和 Circuit 菜单下的命令在对电路进行各种分析时使用，各项功能如下：

1. Analysis 菜单

激活 Analysis，弹出如图 1-2 菜单，其中各项功能如下：

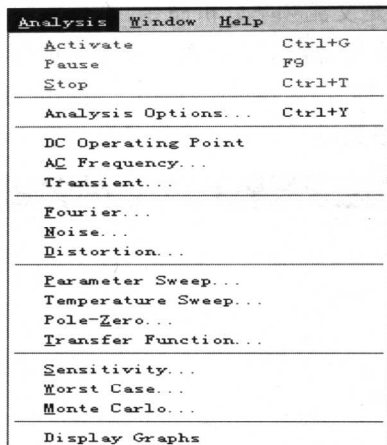


图 1-2 Analysis 对话框

(1) Activate 激活电路仿真，其功能与主窗口右上角的开始开关一致。

(2) Pause 暂停仿真。

(3) Stop 停止仿真。

(4) Analysis Options... 有关电路分析的一些功能，包括有“总体(Global)”选项、“直流(DC)”选项、“瞬态(Transient)”选项、“元器件(Device)”选项和“仪器(Instruments)”选项，使用者可以根据工作需要对其进行参数调整和设置，参数选择窗口如图 1-3 所示。

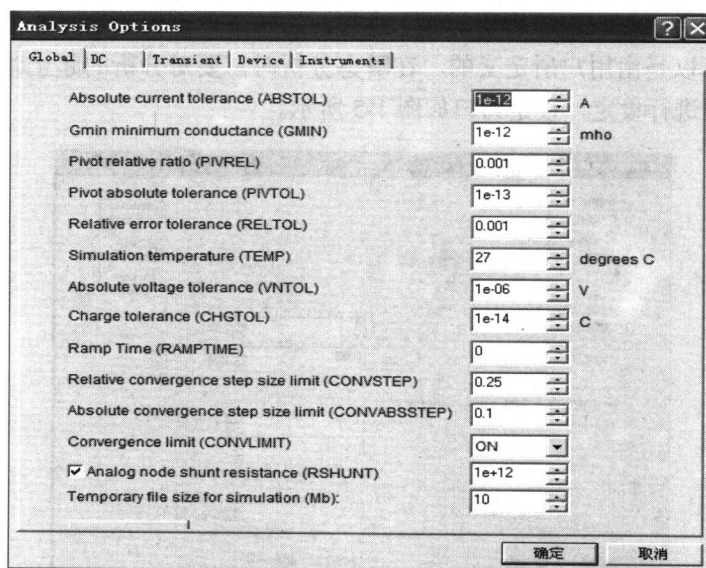


图 1-3 Analysis Options ...参数设置窗口

(5) DC Option Point 该命令执行电路的直流工作点分析。在对电路进行其他分析之前，一般都需要对电路进行直流工作点的分析任务，分析时，利用叠加的思想，把交流

电源置零、电容开路、电感短路，并将连接的数字器件看做高阻接地，该指令分析的结果将显示在 Display Graphs 窗口中。

(6) AC Frequency... 这是交流频率分析命令。在电路等效形式中，在直流电源置零、输入信号选择正弦波形式进行交流频率分析时，需要对所分析的节点、分析的起始频率(Fstart)和终止频率(Fstop)、扫描方式(Sweep Type)、显示的点数(Number Points)以及显示的纵向尺度(Vertical Scale)等参数进行选择。选择参数如图 1-4 所示。

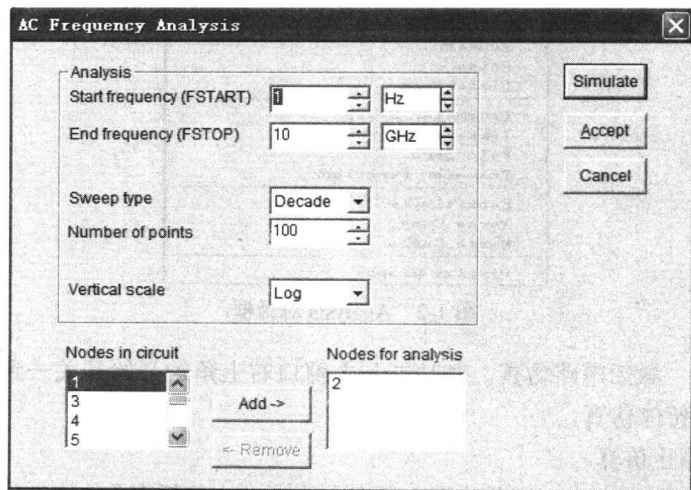


图 1-4 交流分析选择窗口

(7) Transient... 对电路进行瞬态分析。观察所选节点在整个显示周期内各时刻的电压波形。瞬态分析要在一定的初始条件下进行，初始条件可以是在对该节点进行直流分析后得到，也可以是由用户所定义的。在瞬态分析时，要对分析的起止时间、分析和显示的步长等参数进行设定，设定窗口如图 1-5 所示。

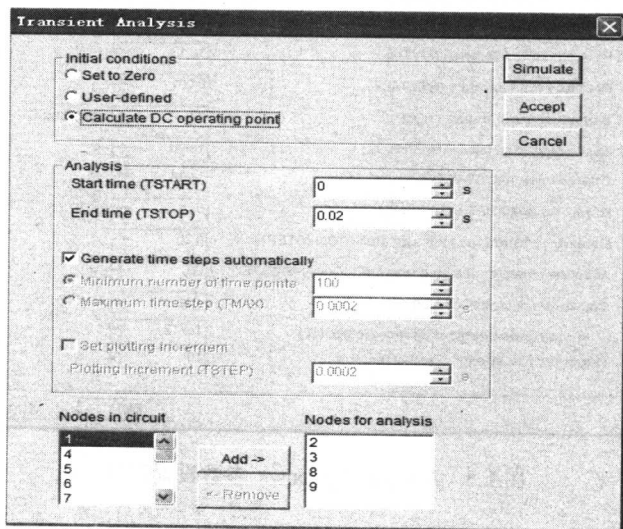


图 1-5 瞬态分析参数设置窗口

(8) **Parameter Sweep ...** 参数变化扫描分析。该命令可以分析某个元件的参数在一定范围内变化时对电路的影响。等同于对选定元件多次取值后对电路进行多次仿真。在参数变化分析命令被激活以后，会弹出一个参数扫描对话框，如图 1-6 所示。

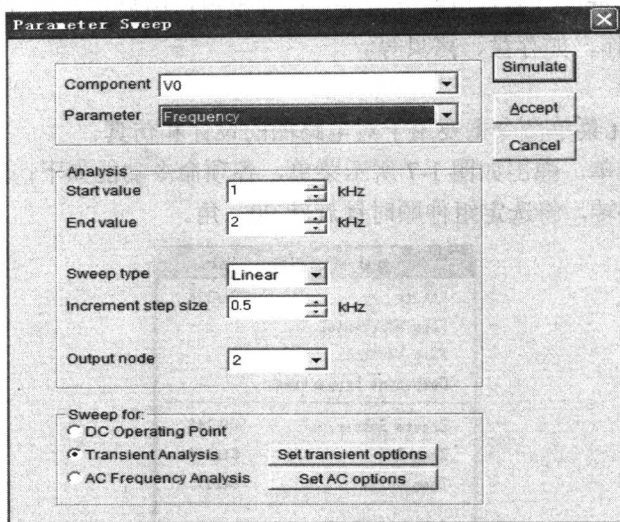


图 1-6 参数变化扫描条件设定窗口

我们在选择窗口中可以选择合适的分析条件，只要按照所需要的分析要求在窗口中输入必要的信息就可以完成对电路的参数变换扫描，从而选定电路的最佳元件参数，得到最理想的电路特性。在执行参数变化扫描分析时，数字器件被看做是高阻接地状态。

(9) **Fourier...** 该命令用于对所选择的节点的时域信号进行频域分析，即对节点处的时域信号做离散傅里叶变换，分析信号的频率特性。执行操作时，需进行一些必要的参数设置，如所需分析的节点、谐波基频等。

(10) **Noise...** 这是噪声分析命令，用于对电路的输出信号的噪声功率进行检测、分析及计算，分析电路元件的噪声对电路的影响。分析时，默认电路中的各噪声源互不相关。

(11) **Distortion...** 该命令用于失真度分析，可对电路中的谐波失真和内部调制失真进行分析，根据电路中激励源的不同，该命令可以对电路中节点信号的不同谐波进行分析。

(12) **Temperature Sweep...** 该命令用于温度扫描分析，在不同温度条件下对电路特性进行测试。在进行扫描分析时，需对测试参数进行设置。

(13) **Pole-Zero...** 零、极点分析。在分析设置对话框中把条件设置好后，可以利用该命令对交流小信号电路的传递函数进行分析，主要是根据系统分析的原理对电路的稳定性进行判定。

(14) **Transfer Function...** 传递函数分析。分析结果为信号源与节点间变量之间的直流小信号传递函数，也可以分析电路的输出和输入阻抗。

(15) **Sensitivity...** 交流以及直流灵敏度分析。当电路中元件参数发生变化时，该命令可以对电路中的电压、电流变化率进行分析。

(16) **Worst Case...** 最坏情况分析。利用它可以分析在电路元件参数发生变化时，电路特性变化的最坏可能性，通过选择不同的测试函数可以对电路的输出信号的不同参数

进行观察，一次测试只能观察一个变量的变化数据。

(17) Monte Carlo... 蒙特卡洛分析。可以分析当电路中元件参数按一定误差分布类型在一定范围内变化时对电路特性的影响。

(18) Display Graphs 显示电路分析图。在弹出窗口中显示各项分析结果，同时对结果进行各种操作，如存盘、拷贝等。

2. Circuit 菜单

EWB 的 Circuit 菜单命令主要用于对电路图的设计和仿真。

激活 Circuit 菜单，弹出如图 1-7 所示菜单，各项命令功能如下：

(1) Rotate 旋转，将选定组件顺时针旋转 90° 角。

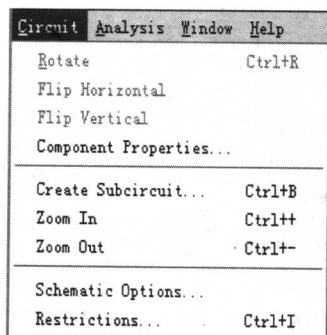


图 1-7 Circuit 对话框

(2) Flip Horizontal 将选定组件水平翻转。

(3) Flip Vertical 将选定组件垂直翻转。

(4) Component Properties 显示元件属性设置窗口，对元件参数进行设置。

(5) Create Subcircuit 创建子电路。子电路创建以后，用户可以对其反复调用，子电路仅在其所在的电路设计过程中有效，要应用于其他电路，可以利用剪贴板进行拷贝、粘贴。

(6) Zoom In 将工作区内电路整体进行放大显示。

(7) Zoom Out 将工作区内电路整体进行缩小显示。

1.2.3 EWB 的工具条

EWB 的工具条如图 1-8 所示。

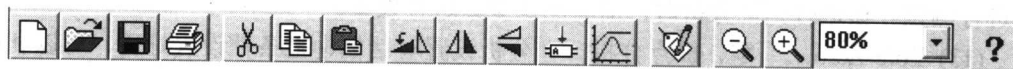


图 1-8 EWB 的工具条



新建

刷新电路设计窗口，准备设计新的电路。



打开

打开一个已经保存在磁盘上的电路文件。



存盘

将当前设计窗口中的电路文件进行存盘，若文件是进行修改的，则以原来保存时的路径及文件名保存；如果是新创建的电路文件，则会提示选择所需文件名及存盘路径。