

PSpice

电路设计与应用

主编 汪建民



国防工业出版社

National Defense Industry Press

内容简介

本书系统介绍了电子电路计算机辅助分析与设计软件 OrCAD PSpice 9.1 中的 PSpice A/D 部分,着重介绍了如何运用 PSpice 对电路进行仿真模拟及分析,包括电路原理图的绘制、PSpice 中各种电路元件的描述、电路的仿真分析以及 PSpice 在模拟电路分析和数字电路分析中的应用等内容。书中配有大量的例题和图表,图文并茂,简单易懂,每个例题都有详细说明及仿真步骤,读者可以方便地查询、验证,所有的例题及其结果都经过了 PSpice 软件的实际测试,确保准确无误。

本书可作为高等院校中电类、非电类等工科学生的教材和参考书,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

PSpice 电路设计与应用/汪建民主编. —北京:国防工业出版社, 2007. 9
ISBN 978 - 7 - 118 - 05242 - 8

I. P... II. 汪... III. 电子电路 - 计算机辅助设计 - 应用软件, PSpice IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 097264 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)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 19 字数 439 千字
2007 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 35.00 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

前 言

随着电子电路技术的发展,集成电路得到了广泛的应用,为满足工业生产中电子电路性能越来越高的需求,集成电路的规模也越来越大,要保证如此大规模集成电路的设计与制造,必须借助于计算机进行仿真、分析和设计,计算机辅助分析与设计技术(Computer Aided Analysis and Design, CAD),即电子电路 CAD 技术,是电子产品从设计、实验到定型过程中一种不可缺少的设计工具。到目前为止,以集成电路 CAD 为基础的电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)已经成为一个独立的学科,绝大多数大规模集成电路的设计、分析及制造都是通过 CAD 和 EDA 工具来实现的。

PSpice(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)是美国 Micro-Sim 公司于 20 世纪 80 年代开发的电路模拟分析软件。它以图形方式输入,自动进行电路检查,生成网表文件,具有模拟和计算电路的性能。高版本的 PSpice 不仅可以对模拟电子电路进行直流分析、瞬态分析及交流分析等,还可以分析数字电子电路和数模混合电路。目前,这个软件被公认为通用电路模拟程序中最优秀的软件,具有广阔的应用前景。1998 年,EDA 界著名的厂家 OrCAD 公司与 MicroSim 公司实现强强联合,推出了 OrCAD PSpice 9,此版本不仅可以对电路进行基本电路特性分析,还可进行最坏情况分析,优化设计等复杂的电路特性分析;并且可以对模拟电路、数字电路、数模混合电路进行仿真分析。OrCAD PSpice 9.1 拥有一个包含上万个模拟器件和数字器件的模型库,并可方便地进行扩展,生成新元器件模型。它的原理图窗口功能强大,绘制、分析电路图及对结果进行仿真都非常方便。

本书介绍了电子电路 CAD 技术基本理论知识及电子设计自动化(EDA)软件 OrCAD PSpice 9.1——模数混合电路分析的使用方法以及软件在电路、模拟电路分析中的应用。OrCAD Release 9.1 包括四个部分内容:

原理图输入、器件信息管理系统 OrCAD Capture CIS 9.1;

模数混合电路分析与设计 OrCAD PSpice 9.1;

印刷板电路图设计 OrCAD Layout Plus 9.1;

可编程逻辑设计 OrCAD Express Product 9.1。

由于本书主要介绍 OrCAD 软件中模数混合电路分析与设计 OrCAD PSpice 9.1 部分的内容,因此书中的示例电路都是在 Schematics 绘图窗口完成的,Or-

CAD 软件中原理图输入、器件信息管理系统 OrCAD Capture CIS 9.1 的应用在第 2 章中作了简要地介绍。

全书共分为 7 章,系统介绍了如何运用 PSpice 对电路进行模拟分析,每章中都含有大量示例,并配有图表说明,使读者一目了然,方便快捷地掌握 PSpice 的应用技巧。

第 1 章介绍了 EDA 工具的发展现状和趋势,使读者对电路仿真与分析有个大致的了解;从第 2 章开始,逐步介绍 PSpice 的实际应用。第 2 章介绍了 PSpice 软件的组成、各个软件包的作用、菜单命令、界面窗口等基本知识;第 3 章介绍了 PSpice 电路仿真分析中常用的一些定理及其在 PSpice 环境下的描述;第 4 章介绍了 PSpice 中对电路结构描述,包括元器件、电源、子电路、模型的调用等;第 5 章介绍了 PSpice 电路仿真系统在电路与磁路分析中的应用,如直流分析、交流小信号分析、蒙特卡洛分析、最坏情况分析等;第 6 章和第 7 章分别介绍了 PSpice 在模拟电路和数字电路及数模混合电路中的应用,通过典型的电路例题使读者清晰明了地掌握 PSpice 的实用技巧;第 8 章介绍了印刷电路板设计。

本书内容新颖,通俗易懂,适合于高等院校电类、非电类工科学生学习,也可作为工程实践中的指导用书。

本书在编写过程中引用了诸多专家、学者的著作和研究成果,在此表示感谢。由于编者水平有限,书中难免存在着许多不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

| | |
|------------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 EDA 概述及其在电子工程设计中的作用 | 2 |
| 1.2 EDA 技术发展现状与趋势 | 3 |
| 1.3 电路仿真软件介绍 | 4 |
| 第 2 章 PSpice 软件入门 | 7 |
| 2.1 PSpice 电路仿真系统的发展过程 | 7 |
| 2.1.1 Spice 通用电路分析程序 | 7 |
| 2.1.2 PSpice 电路仿真程序 | 7 |
| 2.2 PSpice 电路仿真系统的结构 | 9 |
| 2.2.1 原理图绘图编辑程序(Schematics) | 10 |
| 2.2.2 PSpice A/D 数据处理器 | 17 |
| 2.2.3 Model Editor(Parts)元件建模工具 | 24 |
| 2.2.4 Stmed(Stimulus Editor)激励源编辑器 | 30 |
| 2.2.5 Optimizer 电路设计优化程序 | 34 |
| 2.2.6 Probe 后处理器 | 35 |
| 2.3 PSpice 电路仿真系统的特点 | 42 |
| 2.4 利用 Capture CIS 绘制简单电路图 | 43 |
| 2.4.1 启动 Capture CIS 编辑器 | 43 |
| 2.4.2 电路图绘制过程 | 44 |
| 2.4.3 电路仿真的过程与步骤 | 48 |
| 第 3 章 PSpice 程序仿真原理及其描述 | 54 |
| 3.1 电路结构及电路分析 | 54 |
| 3.2 PSpice 电路描述中常用的网络定理 | 59 |
| 3.2.1 叠加定理 | 59 |
| 3.2.2 替代定理 | 61 |
| 3.2.3 互易定理 | 63 |
| 3.2.4 戴维南定理和诺顿定理 | 66 |
| 3.2.5 对偶定理 | 68 |

| | | |
|--------------|-------------------------------|------------|
| 3.2.6 | 特勒根定理 | 69 |
| 3.3 | 电路基本定理在 PSpice 仿真中的应用 | 71 |
| 3.3.1 | 叠加定理的应用 | 71 |
| 3.3.2 | 替代定理的应用 | 75 |
| 3.3.3 | 互易定理的应用 | 78 |
| 3.3.4 | 戴维南定理和诺顿定理的应用 | 82 |
| 3.3.5 | 对偶定理的应用 | 88 |
| 3.3.6 | 特勒根定理的应用 | 91 |
| 第 4 章 | PSpice 电路仿真系统电路结构描述 | 96 |
| 4.1 | 电路结构描述的格式和规定 | 96 |
| 4.1.1 | 输入与输出格式 | 96 |
| 4.1.2 | 节点规定及处理 | 97 |
| 4.1.3 | 电路元件描述规定 | 97 |
| 4.1.4 | 电参量单位及描述规定 | 98 |
| 4.2 | 元件、电源和信号源描述语句 | 99 |
| 4.2.1 | 无源元件 | 99 |
| 4.2.2 | 半导体元件 | 102 |
| 4.2.3 | 电压源和电流源 | 107 |
| 4.2.4 | 开关 | 112 |
| 4.3 | 元件模型、子电路和元件库 | 113 |
| 4.3.1 | 模型描述语句 | 114 |
| 4.3.2 | 子电路描述语句 | 115 |
| 4.3.3 | 库文件调用语句 | 115 |
| 4.3.4 | 包含文件语句 | 117 |
| 4.3.5 | 输出控制语句 | 117 |
| 第 5 章 | PSpice 电路仿真系统在电路分析中的应用 | 119 |
| 5.1 | 直流电路的模拟分析 | 119 |
| 5.1.1 | 直流工作点分析 | 119 |
| 5.1.2 | 直流灵敏度分析 | 120 |
| 5.1.3 | 直流扫描分析 | 122 |
| 5.1.4 | 直流传输特性分析 | 125 |
| 5.2 | 直流电路的扫描分析 | 127 |
| 5.2.1 | 电路功率的平衡 | 127 |
| 5.2.2 | 复杂直流电路分析 | 130 |
| 5.3 | 交流电路的模拟分析 | 132 |

| | | |
|------------|---------------------------------------|------------|
| 5.3.1 | 交流扫描分析 | 132 |
| 5.3.2 | 交流扫描与蒙特卡洛分析 | 135 |
| 5.4 | 瞬态分析 | 139 |
| 5.4.1 | 瞬态分析文本描述 | 140 |
| 5.4.2 | 瞬态分析参数设置 | 140 |
| 5.4.3 | 瞬态分析输出结果 | 141 |
| 5.4.4 | 瞬态分析信号源波形 | 142 |
| 5.5 | 噪声分析与傅里叶分析 | 144 |
| 5.5.1 | 噪声分析 | 144 |
| 5.5.2 | 傅里叶分析 | 148 |
| 5.6 | 温度分析 | 149 |
| 5.6.1 | 温度分析文本描述 | 149 |
| 5.6.2 | 温度分析参数设置 | 150 |
| 5.6.3 | 温度分析输出结果 | 150 |
| 5.7 | 参数扫描分析 | 151 |
| 5.7.1 | 参数扫描分析文本描述 | 151 |
| 5.7.2 | 参数扫描分析的参数设置 | 151 |
| 5.8 | 最坏情况分析 | 154 |
| 5.8.1 | 最坏情况分析的文本描述 | 154 |
| 5.8.2 | 最坏情况分析的参数设置 | 155 |
| 5.8.3 | 最坏情况分析的输出结果 | 156 |
| 第6章 | PSpice 电路仿真系统在模拟电子分析中的应用 | 157 |
| 6.1 | 半导体元件输出特性分析 | 157 |
| 6.1.1 | 二极管输出特性分析 | 157 |
| 6.1.2 | 三极管输出特性分析 | 160 |
| 6.1.3 | 双极结型晶体管放大器输出特性分析 | 162 |
| 6.1.4 | 场效应晶体管输出特性分析 | 166 |
| 6.2 | 放大电路的模拟分析 | 172 |
| 6.2.1 | 基本放大电路的模拟分析 | 172 |
| 6.2.2 | 差分放大器的模拟分析 | 179 |
| 6.2.3 | 反馈放大电路的模拟分析 | 188 |
| 6.3 | 集成运算电路的模拟分析 | 200 |
| 6.3.1 | 系统失调电压 | 200 |
| 6.3.2 | 随机失调电压 | 202 |
| 6.3.3 | 电压增益 | 205 |
| 6.3.4 | 运算放大器的运用实例 | 208 |

| | | |
|------------|------------------------------------|------------|
| 6.4 | 正弦振荡电路的模拟分析 | 214 |
| 6.4.1 | LC 振荡器 | 214 |
| 6.4.2 | 负阻振荡器 | 218 |
| 第7章 | PSpice 电路仿真系统在数字及数模混合电路中的应用 | 222 |
| 7.1 | 门电路的模拟分析 | 222 |
| 7.1.1 | 数字器件的文本描述 | 222 |
| 7.1.2 | 基本门电路的模拟分析 | 229 |
| 7.1.3 | 组合逻辑电路的模拟分析 | 237 |
| 7.2 | 触发器和时序逻辑电路分析 | 248 |
| 7.2.1 | 触发器的文本描述 | 248 |
| 7.2.2 | 触发器的模拟分析 | 252 |
| 7.2.3 | 时序电路的模拟分析 | 255 |
| 7.3 | 其他数字电路的模拟分析 | 263 |
| 7.3.1 | 振荡电路的模拟分析 | 263 |
| 7.3.2 | 数模混合电路的模拟分析 | 267 |
| 7.3.3 | 脉冲信号发生电路的模拟分析 | 271 |
| 7.3.4 | 数字电路竞争冒险现象的模拟分析 | 276 |
| 第8章 | 印刷电路板的设计 | 279 |
| 8.1 | Layout 简介及其基本用法 | 279 |
| 8.1.1 | Layout 简介 | 279 |
| 8.1.2 | Layout 菜单命令 | 281 |
| 8.2 | Layout Plus 示例应用 | 291 |

第 1 章 绪 论

目前,科学技术迅猛发展,各项科技成果日新月异,尤其是计算机的应用,更是渗透到国民经济的方方面面,在人类社会的各个领域,从产品开发到工业生产,从居家办公到通信交流,无不利用计算机强大的逻辑处理和计算能力。随着集成电路与计算机的迅速发展,以计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)为基础的电子自动化设计(Electronic Design Automation, EDA)技术在电子系统及集成电路设计领域得到了极为广泛的应用。一个能完成较为复杂的超大规模集成(电路)(Very Large Scale Integration, VLSI)设计的 EDA 系统一般包括 10 个~20 个 CAD 工具,从高层次数字电路的自动综合、数字系统仿真、模拟电路仿真,到各种不同层次的版图级设计和校验工具,这些工具可以完成自上向下的 VLSI 设计的各个环节和全部过程。

近年来用于电子系统和集成电路设计的 EDA 发展很快、现场可编程逻辑器件(字段可程序门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)、(复合锁相解调器(Compound Phase-Locked Demodulator, CPLD)等)的开发工具在实验室里能设计出专用集成电路,以硬件描述语言(超高速集成电路硬件设计语言(VHSIC Hardware Design Language, VHDL))为输入方式的高层次数字系统综合工具已广泛应用在 VLSI 的设计中,各集成电路(IC)生产厂家的版图单元库也越来越丰富,这些都促使集成电路的设计自动化程度越来越高。对大多数电路设计工作者而言,一般只需进行电路的系统级或电路级综合或仿真,就可以实现 IC 芯片的设计。

利用 CAD 技术进行电路设计具有如下几个优点:

(1) 提高设计效率,缩短产品设计周期。传统方法中,电路的搭接与调试全靠设计人员手工完成,效率低下,出错率高;采用 CAD 技术,这些工作可由计算机完成,大大减轻了设计人员的负担。在设计印制电路时,可以通过计算机完成布线、调试修改等工作。传统方法的样机试制和小批量投产过程,可以通过 CAD 技术中的容差分析和优化设计实现,不仅能设计电路的性能,而且还能预计它的生成合格率。从而大大提高了设计效率,缩短了设计周期。

(2) 提高了设计质量。CAD 技术采用了复杂精确的元件模型和电路模型,甚至可以根据需要来调整所需元件的复杂程度,并备有通用元器件的模型参数库。除了常规模拟外,还可以模拟各种寄生参数的影响,以及模拟元器件参数变化时整个电路性能发生的变化。传统设计方法中因仪器仪表接入而引起的各种插入误差, CAD 技术都可以轻易克服;另外, CAD 技术还能提供多种设计方案,供设计者分析比较,从而选择最佳设计方案。

(3) 降低设计成本。采用 CAD 辅助设计工具,大大节省了传统设计过程中由人工完成的设计、测试、调试等工作,并且不需要试制样机和进行小批量生产。通过 CAD

辅助设计,可以直接利用计算机进行灵敏度分析、容差分析和中心值优化,并对设计结果进行规则检验、可测性分析、故障模拟等极限条件的检验,从而提高设计质量,节省研制费用,减少设计错误,大大降低成本,提高产品的经济效益。

(4) 调试电路方便快捷。传统设计过程中,为满足电路的性能要求,需要设计人员对电路进行调试和修改,工作繁琐而复杂,利用 CAD 工具,不仅可以方便地通过修改元器件参数来调节电路的性能,还可以对电路进行模拟仿真测试,通过模拟波形即可检查电路性能是否符合要求。

(5) 减少设计人员的体力劳动,使之能集中精力进行设计工作。利用 CAD 工具的模拟分析和仿真,设计人员可以通过计算机的简单操作,就能完成全部设计工作,而不是面对许多仪器,如示波器、频谱仪、扫频仪、网络分析仪和通用测量仪器等。设计人员可以在屏幕上看到与真实仪器相同的界面,并且可以同时控制多个窗口,可以方便快捷地对电路进行绘图、仿真、模拟、监测等各种工作。设计人员可以把大部分精力用于创造性的设计工作,而不必为计算、查表、手工绘图等繁琐劳动操心费神。

1.1 EDA 概述及其在电子工程设计中的作用

电子产品的设计生产,从选题、方案论证、性能指标确定、装调电路、修改、定型参数直到批量生产,是一个复杂而又费时的过程。该过程的任一环节,都对产品性能和经济效益产生直接影响。传统的电路装配、调试过程,一般均采用面包板或专门的焊接板,通过手工连线装配,检查无误后,进行电路测量,最后评估电路性能。若性能与设计值不符合时,需调换参数并重新调试测量,直至符合设计要求为止。但是,当电路非常复杂时,采用插接板或焊接板组装电路时所产生的连线错误、元件损坏等人为错误,常会造成人力、财力、时间的浪费及错误的性能评估。尤其是集成电路的设计,元件在插接板上就无法组合成像集成电路内部那样紧密复杂的电子电路,装配板上的寄生参数与集成环境中的完全不同。因此,在装配板测试的特性将无法准确地描述集成电路的真实特性。所以,电子电路的传统设计方法已经不适应当前电子技术发展的要求,这就要借助计算机完成电子电路的辅助设计,即电子电路 EDA 技术。EDA 包括电子工程设计的全过程,如系统结构模拟、电路特性分析、绘电路图和制作印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)等。

EDA 在电子工程设计中发挥了不可替代的重要作用,主要体现在如下三个方面。

(1) 验证电路方案设计的正确性。当要求的系统功能确定之后,首先采用系统仿真或结构模拟的方法验证系统方案的可行性,这只要确定系统各环节的传递函数(数学模型)便可实现。这种系统仿真技术可推广应用于非电专业的系统方案设计,或某种新理论、新构思的方案设计,进而对构成系统的各电路结构进行模拟分析,以判断电路结构设计的正确性及性能指标的可实现性。这种精确的量化分析方法,对于提高设计水平和产品质量具有重要的指导意义。

(2) 电路特性的优化设计。元件参数的容差和工作环境温度将对电路工作的稳定性产生影响。传统的电路设计方法很难对这种影响进行全面的分析和了解,因而也就很难

实现电路的优化设计。EDA 技术中的温度分析和统计分析功能，既可以分析各种恶劣温度条件下的电路特性，也可以对元件容差的影响进行全面的计算分析。其内容包括：

- ①对不同的容差特性进行规定次数的跟踪分析（蒙特卡洛分析）。
- ②单独分析每一元件容差对电路的影响量（灵敏度分析）。
- ③分析全体元件容差对电路性能的最大影响量（最坏情况分析）。

采用统计分析方法，便于确定最佳元件参数、最佳电路结构以及适当的系统稳定裕度，真正做到电路的优化设计。

(3) 实现电路特性的模拟测试。电子电路的设计过程中，大量的工作是各种数据测试及特性分析。但是，受测试手段及仪器精度所限，有些测试项目实现困难。例如，超高频电路中的弱信号测量及噪声测量、某些功率输出电路中具有破坏性质的元件极限参数测量（如高温、高电压、大电流等）。采用 EDA 技术，既可以方便地实现全功能测试，也可以直接模拟各种恶劣工作环境及各种极限条件下的电路特性，而无元件或电路损坏之虞，较之传统的设计方式要经济得多。

1.2 EDA 技术发展现状与趋势

自进入 20 世纪以来，世界上科学技术、经济、社会都发生了剧烈的变革，是一个各行各业、各个领域皆全面发展的世纪。就电子科学技术而言，这种变革表现的尤为突出，从初级的电子管时代、晶体管时代到后来的小规模集成电路时代、大规模，以及近代的超大规模集成电路时代。随着电子计算机技术的发展，电子科学在科学中各个领域都发挥来了越来越重要的作用，它已经渗透到工业、农业、经济、文化、军事、生活等各个社会领域。可以毫不夸张地说，是电子科学技术与计算机技术一起推动人类社会进入了信息化时代，信息化使人类的整体面貌发生了巨大变化，而电子科学技术则是这场伟大变革的基础和动力。

EDA 技术对当代信息科学技术的发展和作用起着巨大的作用，而信息电子科学技术是当代科学技术最重要的组成部分。

EDA 技术是在电子 CAD 技术基础上发展起来的，是指以计算机硬件与软件为工作平台融合了应用电子技术、计算机技术、信息处理及智能化技术的最新成果，是进行电子产品自动设计的计算机应用系统。利用 EDA 工具设计人员可以从概念、算法、协议等开始设计电子系统，大量工作可以通过计算机辅助完成，并可以将电子产品从电路设计、性能分析到设计出 PCB 版图甚至 IC 版图的整个过程在计算机上自动完成。在机械、电子、通信、航空航天、化工、矿产、生物、医学、军事等各个领域都有 EDA 的应用。

EDA 技术的发展促使了电子系统设计方法的革命，传统的设计方法是指自下而上 (Bottom-Up) 的设计方法。电子设计人员根据自己的实践经验，利用现有的通用元器件，从单个器件开始，通过设计绘制电路图、搭接调试、测量修改，一步一步地组装起整个电子电路系统。然后再对整个电路系统进行调试、测量、修改，以确保整个系统达到规定的性能指标。随着电子电路系统的规模越来越大，这种自下而上的方法暴露的缺点和不足也越来越多，从而产生了自上而下 (Top-Down) 的设计方法，并在电子电路系统设计

中逐渐取代了传统的设计方法。这种设计方法从系统整体设计入手,首先确定系统的功能及结构,实现从设计、仿真、测试一体化。其方案验证、参数调节、电路仿真以及电路与 PCB 设计、专用集成电路(Application Specific IC, ASIC)设计等都通过 EDA 工具辅助完成。就 EDA 发展现状来看,数字系统的设计基本上实现了设计自动化;模拟电路因其复杂性,全自动设计还需从事 EDA 技术的研究人员乃至从事集成电路工艺制造设计师们继续不懈地努力。

随着市场需求的增长、集成工艺水平的发展以及计算机自动化设计技术的不断提高,单片系统(或称系统集成芯片)成为 IC 设计的发展方向,这一趋势表现在如下几个方面:

(1) 超大规模集成电路的集成度和工艺水平不断提高,可以在一个芯片上完成系统级的集成。

(2) 成本大大降低,系统体积越来越小,集成度的性能也越来越好。

(3) 高性能的 EDA 工具将得到长足发展,自动化程度及智能程度越来越高,可以进行功能强大的嵌入式系统设计。

随着 EDA 技术的不断发展,其必将在电子科学领域占有越来越重要的地位,也必将为社会、经济等的发展做出越来越大的贡献。因此,熟练掌握并应用 EDA 工具是每个电子设计人员必备的技能。

1.3 电路仿真软件介绍

目前具有广泛影响的 EDA 软件有 EWB、OrCAD/PSpice、Protel、MATLAB 等。这些仿真工具都有较强的功能,例如,可以进行电路设计与仿真,同时还可以进行 PCB 自动布局布线,可输出多种网络表格(简称网表)文件与第三方软件接口等。

1. EWB

Electronic Workbench 软件是加拿大 IIT (Interactive Image Technologies) 公司于 20 世纪 80 年代末至 90 年代初推出的专门用于电子电路仿真的“电子工作平台”,简记为 EWB,目前广泛应用于电子工程设计的各个领域。目前国内常见的版本有 4.0d 和 5.0c。从 6.0 版本开始,EWB 进行了全套规模的改动,仿真设计的模块更名为 Multisim, Electronics Workbench Layout 模块更名为 Ultiboard (PCB 软件)。2001 年, IIT 公司推出了 Multisim 的最新版本 Multisim2001,对先前的版本进行了许多改进。

与其他电路仿真软件相比较,EWB 具有界面直观、操作方便、人机交互方便等优点,绘制电路图、调用元件、修改参数等都可以直接从窗口图形中直接调用,还可以对设计结果进行仿真分析和测试,而且测试结果与实际调试基本相同。同时在该软件下所生成的电路文件可以直接输入到 Tango、Protel 和 OrCAD 等印制电路设计软件,生成印制电路,从而大大缩短了产品开发周期,提高工作效率。

EWB 最显著的特点如下:

(1) 人机界面方便直观。绘制电路图所需要的元器件、测量调试仪器都可以通过鼠标单击图标直接调用,而且模拟仪器的操作界面(如开关、按钮等)非常接近实物,一目了然。

(2) 操作简单, 简便易学。只要具备一般的电子技术基础知识, 几小时内就可以掌握并熟练运用 EWB 的基本操作, 不需要专门的培训, 大大节省了设计人员的时间。

(3) 仿真效果好, 与实际测试结果非常接近, 并且采用了与实际规格非常相似的仪器和元器件。通过 EWB 的仿真模拟, 就可以了解电路的性能, 并且熟悉了仪器的正确使用使用方法, 与实际操作并无二致。

(4) 元器件库内容丰富, 并可根据需要随时扩展。EWB 元件库内有数千种元器件供设计人员选用, 其参数设置、规格模型以及理想状态都非常接近实际的元器件。

(5) 可以对数字信号和数模混合信号进行完整模拟, 在系统中任意地集成数字及模拟元器件, 自动地对信号进行转换, 实时测试系统功能供设计人员参考。

(6) 在对电路进行仿真的同时, 还可以存储实验数据、波形、元器件清单、工作状态等, 并可打印输出。

(7) 提供了静态分析、动态分析、时域分析、频域分析、噪声分析、失真分析、离散傅里叶分析、温度分析等各种分析方法。

(8) 可人为设置故障(如短路、开路、接触不良等), 并进行故障分析。

2. OrCAD/PSpice

PSpice (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) 是美国 MicroSim 公司于 20 世纪 80 年代开发的电路模拟分析软件。1998 年, EDA 界著名的厂家 OrCAD 与 MicroSim 公司实现强强联合, 推出了 OrCAD/PSpice9 版本, 此版本不仅可以对电路进行基本电路特性分析, 而且还可进行最坏情况分析, 优化设计等复杂的电路特性分析; 并且可以对模拟电路、数字电路、数模混合电路进行仿真分析。OrCAD PSpice9.1 拥有一个包含上万个模拟元件和数字元件的模型库, 并可方便地进行扩展, 生成新元件模型。它的原理图窗口功能强大, 绘制、分析电路图及结果仿真都非常方便。

3. Protel

Protel 软件包是 20 世纪 90 年代初澳大利亚 Protel Technology 公司研制开发的一种电子 CAD 软件, 先后推出了在 Windows 操作系统下运行的多个版本。其中最著名的 Protel 99, 此版本将电路原理图编辑、电路仿真测试、可编程逻辑器件 (Programmable Logic Device, PLD) 设计和印制电路板设计等功能融合在一起。Protel 99 强大的功能和方便的操作界面, 使之成为大型电子设计自动化最常用的软件, 在电子行业中知名度很高, 普及程度很广。它包括五大组件, 即原理图设计系统、可编程逻辑器件设计系统、无网格布线系统、电路仿真系统及印制电路板设计系统。在此基础上 Protel 公司于 2002 年正式推出强大 EDA 综合设计环境 Protel DXP, 其功能模块包括原理图设计、印制电路板设计、电路信号仿真、可编程逻辑元件设计、现场可编程门阵列 (FPGA) 电路设计及硬件描述语言 (VHDL) 设计编译模块等, 是 Protel 软件系列的又一核心成员。

Protel 99 软件的功能特点如下:

- (1) 具有强大的电路设计自动化功能。
- (2) 具有完善的元件库, 可以在线编辑和管理。
- (3) 兼容性良好, 可以完全转换 Protel 以前版本的电路设计文件。
- (4) 菜单及工具栏功能丰富、操作简单。
- (5) 可以进行网络协作及资源共享。

(6) 支持 Windows 操作系统下的所有输出外设。

4. MATLAB

MATLAB (Matrix Laboratory, 矩阵实验室) 是一种以矩阵运算为基础的交互式程序语言, 专门针对科学和工程计算及绘图需求而开发的。它是由美国 MathWorks 公司于 1984 年正式推出的, 1988 年推出 MATLAB 3.1 (Dos) 版本, 1992 年推出 MATLAB 4.1 (Windows) 版本, 1997 年推出 5.1 (Windows) 版本。MathWorks 公司于 2000 年末推出了功能强大的 6.0 版本, 与以前的版本相比, MATLAB 6.0 无论在界面的设计上还是在功能上都有很大的提高。2001 年初推出 6.1 (R12) 版本, 2004 年夏又推出最新产品 MATLAB7.0(R14)的正式版。

MATLAB 是一种高性能的用于工程计算的编程软件, 它把科学计算、程序编写以及结果的可视化等都集中在一个系统中, 使设计人员可以非常方便地进行仿真、分析、调试。

MATLAB 系统一般包括以下几个主要部分。

- (1) 编程语言: 以矩阵和数组为基本单位的编程语言。
- (2) 工作环境: 包括一系列的应用工具, 提供编写和调试程序的环境。
- (3) 图形处理: 包括绘制二维、三维图形和创建图形用户界面 (GUI) 等。
- (4) 数学库函数: 包含了大量的数学函数, 也包括复杂的功能。
- (5) 应用程序接口 (Application Program Interface, API): 提供接口程序, 使 MATLAB 可以与其他语言编写的程序进行交互。

与其他仿真软件相比, MATLAB 具有以下典型特点:

- (1) 语言简洁且智能化, 运算符丰富, 符合科技专业人员思维方式和书写习惯, 使用极为方便灵活。
- (2) 语法多样, 限制不严格, 既具有结构化的控制语言, 又能面向对象编程, 并且程序的可移植性较好。
- (3) 人机交互界面好, 具有强大的图形处理功能和功能强劲的工具箱。
- (4) 广泛的应用开放性, 可以进行数值计算、符号计算及建模和动态仿真。

第 2 章 PSpice 软件入门

2.1 PSpice 电路仿真系统的发展过程

2.1.1 Spice 通用电路分析程序

Spice 的发展已有 30 多年的历史。20 世纪 60 年代中期, IBM 公司开发了 ECAP 程序。以此为起点, 美国加州大学伯克利分校(U. C. Berkeley)于 20 世纪 60 年代末开发了 CANCER 电路分析程序, 并在此基础上, 于 1972 年推出了 Spice 程序。1975 年, 推出了升级版 Spice2, PSpice 的主要算法与 Spice2 相同。而后再相继推出 Spice2G、Spice3A、...、Spice3G。Spice 源程序是开放的, 能够迅速地进行扩展和改进, 使得它的电路分析功能不断扩充、算法不断完善、元器件模型不断增加和更新、分析精度和运行时间也得到了有效的改善, 因而成为电路模拟的标准工具。

Spice 程序能够代替面板、示波器等整个电子实验室的功能, 对复杂的电路与系统进行分析, 这主要是由于 Spice 程序含有高精度元器件模型。获取准确的器件模型参数对于电路分析和设计人员来说是非常重要的。

Spice 程序具有庞大的元器件库。其中包括: 无源器件模型(如电阻、电容、电感、传输线等)、半导体器件模型(如二极管、双极型晶体管、结型场效应管(JFET)、MOS 场效应管(MOSFET)等)、各种电源(包括线性和非线性的受控源, 如独立电压源、电流源, 受控电压源、电流源等)及模/数(A/D)、数/模(D/A)转换接口电路和数字电路器件。应用 Spice 程序可以建立许多宏模型电路, 这使得运算放大器、电压比较器等电路功能的模拟成为可能。

应用 Spice 程序还可以进行多种电路分析, 包括: 非线性直流分析(.DC), 计算电路的直流工作点; 线性小信号分析(.AC), 确定电路的频率响应; 瞬态分析(.TRAN), 确定电路的时域响应; 小信号电路直流传输特性分析(.TF); 直流小信号灵敏度分析(.SENS); 畸变分析(伴随交流分析); 噪声分析(.NOISE, 伴随交流分析), 计算特定输出和输入节点的等效输出、输入噪声; 输出变量的傅里叶分析(.FOUR, 与瞬态分析同时完成); 温度分析(.TEMP); 数字电路分析, 包括电路的逻辑运算和延迟时间的计算; A/D、D/A 转换电路分析。

2.1.2 PSpice 电路仿真程序

1. PSpice 简介

PSpice 是 Spice 家族的一员, 其主要算法与 Spice2 相同。它是由美国 MicroSim 公

司在 Spice 2 G 版本的基础上升级并用于 PC 上的 Spice 版本, 其中, 采用自由格式语言的 PSpice 5.0 版本自 20 世纪 80 年代以来在我国得到了广泛的应用, 并且从 PSpice 6.0 版本开始引入图形界面。1998 年, 著名的 EDA 商业软件开发商 OrCAD 公司与 MicroSim 公司正式合并, 自此 MicroSim 公司的 PSpice 产品正式并入 OrCAD 公司的商业 EDA 系统中。目前, OrCAD 公司已正式推出了 OrCAD PSpice 9.1, 与传统的 Spice 软件相比, PSpice 9.1 在如下三个方面实现了重大变革:

(1) 对模拟电路进行直流、交流、瞬态等基本电路特性分析的基础上, 实现了蒙特卡洛分析、最坏情况分析以及优化设计等较为复杂的电路特性分析。

(2) 不但能够对模拟电路进行仿真, 而且能够对数字电路、数/模混合电路进行仿真。

(3) 集成度大大提高, 电路图绘制完成后可直接进行电路仿真, 并且可以随时观察与分析仿真结果。

2. PSpice 仿真步骤

用 PSpice 进行电路仿真的基本步骤如下:

(1) 设计电路的结构, 设置元器件参数。画电路图, 标注各元件名称及参数值, 标注各元件节点及节点编号等; 建立电路的输入文件, 输入文件有两种形式: 一种是文本形式; 另一种是原理图形式。

(2) 确定分析类型。确定所要分析的对象物理意义和基本特征。

(3) 执行 PSpice 仿真程序。

(4) 对已建立的电路原理图进行电路规则检查, 产生数据文件, 确认修改后进行仿真分析, 并显示分析结果。

(5) 输出并观察仿真运行结果。完成电路模拟仿真计算之后, 若采用图形方式显示分析结果, 则可调用图形后处理程序 (Probe) 完成。

PSpice 程序仿真流程图如图 2-1 所示。

3. PSpice 9.1 运行环境

低版本的 PSpice 运行于 DOS 操作系统, 自 PSpice 5.1 版本开始均可在 Windows 操作系统下运行。对于 PSpice9.1, 建议使用如下最低配置。

(1) 硬件环境: 奔腾或赛扬 800MHz 或以上 CPU; 128MB 内存; 最好有 1GB 以上硬盘空间; 标准键盘、VGA 以上显示适配器及鼠标; CD-ROM 驱动器(用于安装 PSpice)。

(2) 软件环境: Windows 98 / ME / 2000 / XP。

以上均为推荐配置, 配置越高, PSpice 功能发挥得越充分, 建议尽量提高环境配置。

PSpice 是电子电路计算机辅助分析和设计中常用的一种通用电路分析软件。它以图形方式输入, 自动进行电路检查, 生成网表文件, 具有模拟和计算电路的性能。目前, 高版本的 PSpice 不仅可以对模拟电子电路进行直流分析、瞬态分析及交流分析等, 而且还可以分析数字电子电路和数模混合电路。目前, 该软件被公认为通用电路模拟程序中最优秀的软件, 具有广阔的应用前景, 而且随着科学技术的发展, 电子电路的规模越来越大, 必须借助于计算机进行仿真、分析和设计, 而且它是电子产品从设计、实验到定型过程中不可缺少的设计工具。

虽然 PSpice 应用越来越广泛, 但是也存在着明显的缺点。由于 Spice 软件最初主要

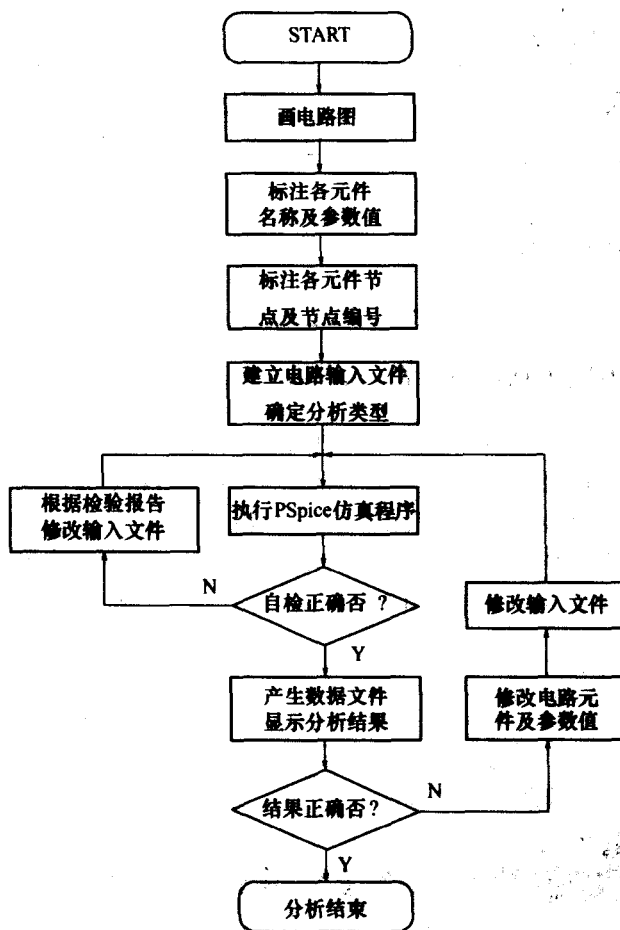


图2-1 PSpice程序仿真流程图

是针对信息电子电路设计而开发的，因此，器件的模型都是针对小功率电子器件的，对于电子电路中所用的大功率器件存在的高电压、大功率现象不尽适用，有时甚至可能导致错误的结果。PSpice 采用变步长算法，对于以周期性的开关状态变化的电力电子电路而言，将造成大量的时间耗费在寻求合适的步长上，导致计算时间延长，有时甚至不收敛。另外，在磁性元件的模型仿真上，PSpice 也有待加强。

2.2 PSpice 电路仿真系统的结构

OrCAD PSpice Release 9.1 共有六大功能模块，其中核心模块是 PSpice A/D，其余功能模块分别是：原理图绘图编辑模块(Schematics Editor)、激励源波形编辑模块(Stimulus Editor)、模型参数编辑模块(Model Editor)、模拟显示和分析模块(PSpice/Probe)及电路设计优化模块(Optimizer)。PSpice 主要包括 Schematics、PSpice A/D、Probe、Stmed(Stimulus Editor)、Model Editor (Parts) 等五个软件包，这些程序的协作关系如图 2-2 所示。