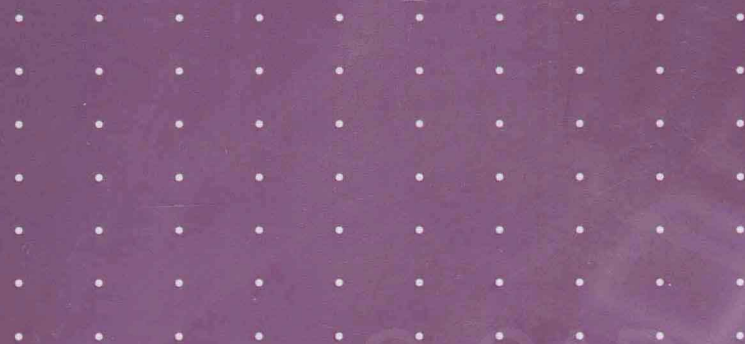


教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

电路PSpice 仿真实训教程

(配光盘)

■ 孙 玲 包志华 张 威 编著
■ 王志功 主审



OrCAD
OrCAD
OrCAD



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

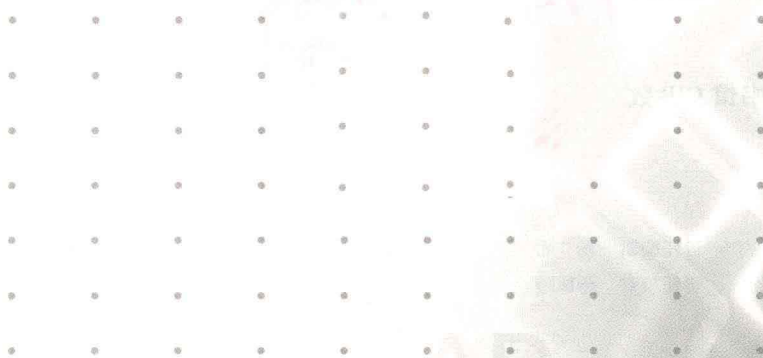
教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委

电路PSpice 仿真实训教程 (配光盘)

DIANLU PSPICE FANGZHEN SHIXUN JIAOCHENG

■ 孙 玲 包志华 张 威 编著

■ 王志功 主审



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本教材紧密结合电路课程的理论教学内容,借助专业的仿真软件,介绍 CAD 工具在电路原理实践教学中的应用。主要内容包括三大部分:通过 PSpice 软件的直流分析功能指导学习和理解直流电路基础理论和基本分析方法;通过时域分析功能指导学习和理解动态电路的特点;通过交流分析功能指导学习和理解 RLC 电路的频率特性曲线。最后简单介绍了 PSpice 部分常用高级仿真功能。为了方便读者上机练习,本书附有 Cadence 公司上海办事处提供的 OrCAD 16.5 软件学习版光盘一张。

本书可作为高等院校电气信息类专业或其他相关专业本科生电路课程实验教学的教材,也可供从事电子电路 CAD 的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路 PSpice 仿真实训教程/孙玲,包志华,张威编
著. -- 北京:高等教育出版社,2013.5
ISBN 978-7-04-037160-4

I. ①电… II. ①孙…②包…③张… III. ①电子电路-计算机辅助设计-应用软件-高等学校-教材 IV.
①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 068972 号

策划编辑 吴陈滨	责任编辑 杨 希	封面设计 赵 阳	版式设计 马敬茹
插图绘制 宗小梅	责任校对 杨凤玲	责任印制 张福涛	

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京奥鑫印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 12.25
字 数 270 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2013 年 5 月第 1 版
印 次 2013 年 5 月第 1 次印刷
定 价 27.70 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 37160-00

序

自1999年以来,我国高等教育的规模发生了历史性变化,开始进入大众化的发展阶段。高等院校从生源基础知识水平、课程设置、教学目的到培养目标都趋于多元化,原有教材类型和种类较少的现状已经难以满足不同类型高等院校培养不同类型人才的需求。而在本科教育中,基础课程建设是保证和提高教学质量的关键。为此,“教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会”与高等教育出版社合作,以教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新制定的《电子电气基础课程教学基本要求》、电子信息科学类与电气信息类各教学指导分委员会最新制定的专业规范以及《全国工程教育专业认证标准(试行)》为依据,共同组织制订了“电子信息科学类与电气信息类专业平台课程教材规划”。

这套规划教材的制订和编写遵循了以下几点原则:

1. 尊重历史,将高等教育出版社经过半个多世纪的积淀所形成的名家名作、精品教材纳入规划。这些教材经过数十年的教学实践检验,具有很好的教学适用性。此次规划将依据新的《电子电气基础课程教学基本要求》以及电气信息学科领域的最新发展,对教材内容进行修订。

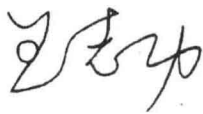
2. 突出分类指导,突出不同类型院校工程教育的特点。大众化教育阶段,不同类型院校的人才培养目标定位不同,应当根据不同类型院校学生的特点组织编写与之相适应的教材。鼓励有编写基础的一般院校和应用型本科院校经过2~3年的试用,形成适用于本层次教学的教材。

3. 理论知识与实际应用相结合。提倡在教材编写中把理论知识与在实际生产和生活中的应用紧密结合,着重培养学生的工程实践能力和创新能力,以适应社会对工程教育人才的要求。

4. 数字化的多媒体资源与纸质教材内容相结合。在教育部“加快教育信息化进程”的倡导下,提倡利用多样化、立体化的信息技术手段(如动画、视频等),将课程教学内容展现给学习者,以加深他们对知识的理解,达到更好的教学效果。

教材建设是一项长期、艰巨的工程。我们将本着成熟一批出版一批的指导思想,把这项工作扎实持续地推进下去,为电子信息科学类与电气信息类专业基础课程建设一批基础扎实、教学适用性强、体现时代气息的规划教材,为提高高等教育教学质量,深化高等教育教学改革做出应有的贡献。

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员



2010年12月

前 言

随着计算机技术飞速发展,电子电路 CAD 技术水平不断地提高,设计软件功能越来越强大,用户界面也趋于完美,成为现代电子产品设计不可缺少的工具。复杂电子系统的设计尤其是集成电路的设计更离不开 CAD 技术。同时,CAD 技术也是提高设计效率、降低成本和增强可靠性的重要手段。因此,在工科电气信息类专业教学中引入先进的电路 CAD 技术已经成为国内众多高校专业教师的共识。同时,电路 CAD 的应用能力已成为现代电类专业学生必须具有的一种基本能力。

本教材主要目的是为了帮助所有电气信息类专业的本科学生学好第一门专业基础课程“电路”(或称“电路原理”、“电路分析”等)部分的理论知识和基本分析方法等内容,主要涉及线性元器件和网络问题。虽然 SPICE 是面向集成电路开发的,其最重要的功能涉及双极型晶体管和场效应晶体管等多种非线性器件和大规模电路的各种特性求解,但线性元器件求解和分析却是 SPICE 最基本的功能。因此,对初学者而言,从线性元器件和电路入门符合由浅入深、循序渐进的学习准则。

本书作为学习电路 CAD 的入门教材,主要是依靠教师在讲懂基本理论的同时,引导学生学会使用 CAD 应用软件来进行电路的辅助分析和设计,让学生以工程设计的眼光来思考问题。并通过简单电路的设计激发学生学习的积极性和主动性,培养他们分析问题和解决问题的综合能力。实践证明,CAD 软件的应用有助于学生拓宽电子线路设计的知识面、开阔眼界,为他们今后进行更高层次电路与系统的设计打下基础。

本教材主要利用 SPICE 的直流分析、交流分析和瞬态分析三大基本功能,介绍含有电阻、电容、电感和互感等基本电路元器件以及这几类元器件所组成的网络的分析。为了讨论问题方便并遵循循序渐进的原则,首先给出含直流电源和电阻电路的直流分析;接着给出含储能元件电路的瞬态分析,以简单的 RC 、 RL 和 RLC 电路为基础,通过得出对时变信号源响应的时域波形的方法分析一阶、二阶电路的特点。根据这些分析可以得到 RC 和 RL 电路的微分与积分特性以及 RLC 电路的谐振特性。交流分析实际上是线性电路稳态时单一频率的分析。由于是单一频率,又是稳态的,电路分析不考虑初始值,最终反映的是分析输入、输出信号的幅度和相位关系,这样的关系对于线性网络而言是确定的。这样,就可以得到网络的幅频特性,并进行二端口网络 Y 、 Z 和 H 等参数的求解。

PSpice 是国际著名的电子设计自动化软件之一,不仅可以应用于电类专业本科生课程电路原理、模拟电路、高频电子线路和数字电路的分析和优化设计中,还可以与印制电路板设计软件配合使用,完成各种电路从设计到提交制作的流程。将 PSpice 作为这些课程教学的辅助工具,可以弥补理论教学抽象、传统实验教学设备不足导致内容受限的缺陷。学生结合学习内容,进行

接近于实际电路的设计、分析与调试,有利于加深对理论的理解,提高感知与动手实践能力,激发学习兴趣。

本书的编写得到了东南大学王志功教授的支持和帮助,他根据亲自编写的《电路与电子线路基础》(电路部分)的课程改革思路指导了本书的编写,并欣然担任本书主审;Cadence 公司上海办事处为本书提供了书后所附的 OrCAD16.5 软件学习版,Ellen Tam、王辉、何凡和熊文先生对本书的编写给予了大力支持,并审阅了软件部分的内容。同时胡小军提供了宝贵的修改意见。在此向他们表示真诚的感谢!

本书在编写过程中参考了不少专家、学者的著作和研究成果,在此表示感谢!感谢南通大学杏林学院集成电路设计与集成系统专业 09 级和 10 级的所有同学在“电路原理实践”课程教学中提出的宝贵意见!

本书的编写还得到了江苏省 2010 年度“青蓝工程”项目和南通大学杏林学院重点专业建设项目的支持,并被列为学院“应用型人才培养系列教材”。

鉴于 Cadence OrCAD 系列软件功能丰富,可应用于多种不同电子系统的仿真,使得编写一本既能覆盖软件功能使用,又能紧密结合理论知识的教材显得十分困难。加之编者水平有限,书中难免还存在遗漏和错误,恳请读者批评指正。

建议和意见请发至编著者邮箱:sun.l@ntu.edu.cn

编著者

2012 年 12 月于南通

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将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，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第 1 章 电路 CAD 概述	(1)
1.1 电路与 CAD	(1)
1.2 电子设计自动化技术概述	(2)
1.3 SPICE 软件简介	(3)
1.4 SPICE 仿真模型及电路描述语句	(4)
1.4.1 输入描述语句的构成	(5)
1.4.2 输入描述语句的规定	(5)
1.5 Cadence OrCAD 集成环境简介	(6)
1.6 Cadence OrCAD 入门	(8)
1.7 实训练习:OrCAD Capture 使用初步	(17)
思考题与习题	(17)
第 2 章 直流分析	(18)
2.1 直流分析简介	(18)
2.2 直流分析中的电路元器件	(19)
2.2.1 独立电源	(19)
2.2.2 受控电源	(19)
2.2.3 电阻	(20)
2.3 静态工作点分析	(21)
2.3.1 静态工作点分析设置	(21)
2.3.2 静态工作点分析实例	(23)
2.4 直流传输特性分析	(26)
2.4.1 传输特性分析设置	(27)
2.4.2 传输特性分析实例	(27)
2.5 直流扫描分析	(31)
2.5.1 直流扫描分析设置	(31)
2.5.2 直流扫描分析实例	(32)
2.5.3 参数扫描分析实例	(35)
2.5.4 二次扫描分析实例	(42)
2.6 实训练习	(45)
2.6.1 练习一:电阻电路的静态工作点及传输特性分析	(46)

2.6.2 练习二:含受控源电路的直流分析	(48)
2.6.3 练习三:电阻电路的直流扫描分析	(49)
思考题与习题	(51)
第3章 瞬态分析	(52)
3.1 瞬态分析中的电路元器件	(52)
3.1.1 电容	(52)
3.1.2 电感	(53)
3.1.3 开关	(53)
3.2 动态电路的时域响应	(57)
3.3 SPICE 中的瞬态信号源	(57)
3.3.1 脉冲源	(58)
3.3.2 正弦源	(60)
3.3.3 指数源	(61)
3.3.4 分段线性源	(63)
3.3.5 单频调频源	(66)
3.4 瞬态分析参数设置及应用实例	(67)
3.4.1 瞬态分析参数设置	(68)
3.4.2 动态电路的零输入响应	(69)
3.4.3 动态电路的零状态响应	(76)
3.4.4 动态电路的全响应	(80)
3.4.5 RC 电路在周期信号作用下的响应	(83)
3.4.6 含开关元件的动态电路	(87)
3.5 实训练习	(91)
3.5.1 练习一:简单一阶电路的时域分析	(91)
3.5.2 练习二:简单二阶电路的时域分析	(94)
3.5.3 练习三:混合电路的时域分析	(95)
思考题与习题	(97)
第4章 交流分析	(98)
4.1 交流分析与正弦稳态电路	(98)
4.2 电路的频率响应	(99)
4.2.1 网络函数与频率响应	(99)
4.2.2 频率响应曲线	(100)
4.3 交流分析参数设置及应用实例	(102)
4.3.1 交流分析信号源	(102)
4.3.2 交流分析参数设置	(103)

4.3.3 一阶电路的频率响应	(104)
4.3.4 二阶电路的频率响应	(114)
4.4 交流分析与瞬态分析	(123)
4.5 含有耦合电感电路的分析	(124)
4.5.1 互感	(124)
4.5.2 含耦合电感电路的交流分析	(125)
4.5.3 含耦合电感电路的瞬态分析	(129)
4.5.4 多耦合电感电路	(134)
4.6 实训练习	(134)
4.6.1 练习一:正弦稳态电路的仿真分析	(134)
4.6.2 练习二:含有耦合电感电路的时频域分析	(136)
思考题与习题	(137)
第5章 PSpice 高级仿真功能简介	(138)
5.1 高级仿真功能概述	(138)
5.2 温度分析	(139)
5.3 蒙特卡洛分析	(142)
5.4 最坏情况分析	(146)
5.5 傅里叶分析	(151)
5.6 噪声分析	(154)
5.7 实训练习	(157)
思考题与习题	(157)
附录 A 软件安装	(158)
A.1 软件安装步骤	(158)
A.2 Capture 原理图编辑环境下菜单说明	(160)
A.3 快捷键	(172)
A.4 Plot Window 图形显示环境下功能函数	(173)
附录 B PSpice 中的有关规定	(179)
B.1 数字和单位	(179)
B.2 分隔符	(180)
B.3 表达式编写规则	(180)
B.4 常用的元器件类别及其字母代号(按字母顺序)	(180)
B.5 PSpice 元器件库	(181)
参考文献	(185)

第1章 电路 CAD 概述

电子技术的飞速发展,特别是集成电路的发展,使得现代电子系统的功能越来越强大、复杂程度越来越高,简单的手工设计已经无法应对,以计算机辅助设计(CAD:Computer Aided Design)技术为基础的电子设计自动化(EDA:Electronic Design Automation)已成为现代电子电路设计必不可少的工具。

1.1 电路与 CAD

电路课程不仅是高等学校电气信息类专业本科生必修的一门专业基础课程,也是计算机类、机械类、交通运输类中相关专业的一门技术基础课。该课程作为联系公共基础课与专业课程的第一座桥梁,集实际元器件、工程分析和工程计算于一体,是学生进入电气信息类专业领域的启蒙课程。

电路课程教学主要讲解电路的基本概念、基本定理、基本分析方法和基本设计方法。这些分析和设计方法在 20 世纪 80 年代主要是由手工或借助于计算尺等工具来完成的。好在那时电路规模不大,特别是电路课程中主要涉及由电阻、电容和电感等基本元件组成的简单线性电路,分析和设计时的计算工作量还没有大到和难到完全不能承受的地步。随着集成电路的发明和从小规模到超大规模再到 SOC 即系统芯片的发展,电路分析和设计的任务已经到了手工完全不可及、必须引入计算机辅助分析(CAA:Computer Aided Analysis)和设计(CAD)的程度。而计算机硬件技术的发展已经为电路的辅助分析和设计奠定了基础,强有力的 CAD 工具如 SPICE 已应运而生。因此,从学生的第一门专业或技术基础课程开始到电子技术等专业课程,再到最后的毕业设计,由浅入深、由简单到复杂,逐渐帮助他们在大学学习期间熟练掌握甚至精通至少一种 CAD 软件工具,非常有助于提高他们的就业适应力和竞争力。因此,在电路课程中开展 CAD 仿真实训教学,不仅可以弥补传统电路实验教学方法的不足,也符合现代社会对电子设计人员的要求。

2011 年度,由教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会编写出版的《电子电气基础课程教学基本要求》中将“了解一种电路分析软件,能用其求解电路理论基础课程的习题”列入“电路理论基础”和“电路分析基础”课程的教学基本要求。近几年出版的多部电路类优秀教材也都不同程度地融入了电路分析软件的内容。例如,邱关源和罗先觉教授编著的普通高等

教育“十五”国家级规划教材、《电路》(第5版)以及王松林教授等编著的《电路基础》在附录部分都给出了 PSpice 在电路分析中的应用简介。2012 年最新出版的王志功教授等编著的《电路与电子线路基础》(电路部分)更是以 SPICE 贯穿全书,在介绍各种电路基本元件时均给出了它们的 SPICE 描述。“了解一种仿真软件在电路分析中的应用”作为电子设计自动化(EDA)部分的教学内容还被列入了电子电气 5 大类基础课程(电路、信号与系统、电磁场、电子线路与电子技术、电工学)之一的“电工学”课程的教学要求中。

尽管可用于电路分析的计算机辅助设计软件工具有多种,但考虑到其标准性、普及性、操作平台、使用许可以及后续模拟电子技术课程的衔接等因素,本教材选用以 SPICE 为核心开发的电路仿真软件 PSpice 为读者介绍如何借助 CAD 工具进行电路分析。

有关 CAD 技术和 SPICE 软件的概述以及 PSpice 软件的集成环境介绍如下。

1.2 电子设计自动化技术概述

电子电路 CAD 技术是指以计算机硬件和系统软件为基本工作平台,综合运用图论、拓扑逻辑优化、人工智能、电路与系统等多学科的科技成果而开发形成的应用软件包。其目的是在计算机上实现调用元器件、连线画图、产生激励信号、确定跟踪点、调用参数库以及模拟程序等,以帮助电子设计工程师更有效地完成电路设计,迅速开发出新的电子系统,包括印制电路板(PCB: Printed Circuit Board)、专用集成电路(ASIC: Application Specific Integrated Circuit)、现场可编程门阵列(FPGA: Field Programmable Gate Array)以及复杂可编程逻辑器件(CPLD: Complex Programmable Logic Devices)等产品。

第一代用于电子设计的 CAD 工具出现于 20 世纪 60 年代末 70 年代初,主要用于以 SSI/MSI (小/中规模集成)标准 IC 组成的 PCB 的设计。受当时计算机平台的制约,CAD 工具能支持的电子设计功能有限,性能也差,只有一些拥有大型机的公司开发了一些能做逻辑仿真的 CAD 软件工具。对 IC 设计而言,当时的 CAD 工具还只能用于芯片的版图绘制及版图设计规则的检查,尚不能提供电气规则检查以保证所设计的版图满足电路性能的要求。

到了 20 世纪 80 年代,随着工作站(Workstation)的推出,以 Dasiy、Mentor Graphics、Valid 等公司为代表的一些 CAD 公司推出了第二代 CAD 系统。新的应用软件在功能和性能上较前大为进步,不仅具有图形处理能力,而且还具有原理图输入和仿真能力。随着 PC 机的出现与普及,这种 IC CAD 开发工具又很快进入到个人计算机领域。与此同时,另一家美国公司 ECAD 推出了非常实用的版图验证软件 Dracula,包括了设计规则检查(DRC)、电气规则检查(ERC)、版图参数提取(LPE)和版图电路图对照(LVS)等功能。

如今 CAD 工具已进入了第三代,称为电子设计自动化 EDA 系统。其主要标志是系统级设计工具的推出(包括目前已广泛流行的硬件描述语言 VHDL 和 Verilog 及其仿真器)和逻辑设计工具的广泛应用。这些 EDA 系统功能覆盖了电子产品的设计全过程,从系统描述输入、综合、仿

真、布图、验证到测试都有对应的 CAD 工具,且具有方便美观的用户界面、开放的环境和标准化的数据接口,如静态数据交换标准 EDIF、动态数据交换标准 CIF 和版图级的标准 GDSII 等。由于有标准化的数据交换接口,因此允许用户将多个不同 CAD 公司的工具集成在一个 EDA 系统中,系统的设计能力已经达到每个芯片几十万到上百万门。

EDA 软件产品的发展可以大致归为两个方面,一方面是单一产品的功能越来越细;另一方面是产品的覆盖面越来越全,即所谓的全流程解决方案。作为 EDA 业界世界著名公司之一的 Cadence 公司就为电子工程师提供了完整的 EDA 解决方案。除了 Cadence 公司之外,目前国内市场上的 EDA 公司还有 Synopsys、Silvaco 和华大九天软件等。

由于电子电路 CAD 技术将计算机的快速、高精度、大的存储容量和优良的数据处理与人的创造性思维能力充分结合起来了,因而,与传统的设计方法相比,采用 CAD 技术进行电子电路的分析和设计具有以下优点:

(1) 提高了设计效率,缩短了设计周期。用计算机仿真代替搭实验电路的方法,可以减轻设计方案验证阶段的工作量,极大地加速设计进程。另外,在设计印制电路板时,目前也有不少具有自动布局布线和后处理功能的印制电路板设计软件可供采用,将人们从繁琐的纯手工式布线中解放出来,缩短了设计周期。借助 CAD 工具的容差分析和优化设计,还能事先预计产品的生产合格率,进一步缩短了设计周期。

(2) 提高了设计质量,降低了设计成本。传统的设计过程必须投入大量的人力、物力进行设计和调试。通过搭实验电路板的方式进行验证,很难进行多种方案的比较,更难以进行灵敏度分析、容差分析、成品率模拟、最坏情况分析和优化设计等。为了提高产品的成品率,还必须进行小批量生产来进行测试。这样的产品开发过程费用高、效率低。采用计算机进行模拟验证有助于提高设计质量,有效减少研制费用。

(3) 共享设计资源,优化电路设计。在 CAD 系统中,成熟的单元设计及各种模型和模型参数均存放在数据库文件中,用户可直接分享这些设计资源。特别是对数据库内容进行修改或增加新内容后,用户可及时利用这些最新的结果,不断优化自己的电路设计。

1.3 SPICE 软件简介

电子产品的设计一般先从功能框图开始,然后细化到原理图,再经过复杂和繁琐的调试验证过程,最终才能完成。为了验证原理图的正确性,人们开发出电路仿真软件,通过快速的仿真,提高设计速度和效率,也节省了时间和成本。最早、最出色的仿真软件就是 SPICE。

SPICE (Simulation Program With Integrated Circuit Emphasis) 是由美国加州大学伯克利分校的电子研究实验室于 1975 年开发出来的一种功能非常强大的通用模拟电路仿真器。正如 SPICE 的名字所表示的,它最初主要被用来验证集成电路中的电路设计,预测电路的性能。第一个版本 SPICE1 于 1971 年推出,通过围绕晶体管建立电流和电压变量来仿真电路的行为,称为模拟仿真

或电路级仿真,且只能模拟 100 个晶体管的电路。1975 年 SPICE2 发布,开始正式实用化。1983 年发布的 SPICE2G.6 在很长时间内都是工业标准,它包含超过 15000 条 FORTRAN 语句,运行于多种中小型计算机上。1985 年 SPICE3 推出,改用 C 语言开发,易于运行于 UNIX 工作站,还增加了图形后处理工具和原理图工具,提供了更多的器件模型和分析功能。1988 年 SPICE 被定为美国国家标准。

SPICE 可对电路进行非线性直流分析、非线性瞬态分析和线性交流分析。被分析电路中的元件可包括电阻、电容、电感、互感、独立电压源、独立电流源、各种线性受控源、传输线以及有源半导体器件。SPICE 内建半导体器件模型,用户只需选定模型级别并给出合适的模型参数即可。

各种以 SPICE 为核心的商用模拟电路仿真软件,在 SPICE 的基础上做了大量实用化工作。PSpice 就是 SPICE 家族的一员,其主要算法与 SPICE2 相同。随着版本的不断升级,其功能不断完善,能够快速地完成模拟与混合信号电路的仿真,并且支持蒙特卡洛等高级分析,来确定电路失效的原因,从而提高设计的可生产性和产品性能的一致性。

除了已归属于 Cadence 公司的 PSpice 之外,还有 Synopsys 公司的 HSpice、Silvaco 公司的 SmartSpice 等其他电路仿真软件。

1.4 SPICE 仿真模型及电路描述语句

SPICE 程序能够对复杂的电路与系统进行分析,主要是由于 SPICE 程序含有高精度的元器件模型。SPICE 模型是由 SPICE 仿真器使用的基于文本描述的电路器件,它能够用数学模型预测不同情况下元器件的电气行为。

SPICE 模型由两部分组成:模型方程式和模型参数。它是建立在电路基本元器件(如晶体管、电阻、电容等)的工作机理和物理细节之上的,是一个根据原理图中各元器件的连接关系创建的网表文件。该网表由一系列子电路组成,用户通过调用相关的子电路模块就可以简单地建立模拟网表。原理图中各元器件的 SPICE 参数主要表征元器件的物理特性和电特性。参数描述的充分性和精确性将决定模拟结果的准确性。利用 SPICE 模型,可以精确地在电路器件级仿真系统的工作特性、验证系统的逻辑功能,因此在集成电路设计中得到了广泛的应用。因为它能够精确计算出系统的静态和动态等各种工作特性,所以也可以用来进行系统级的信号完整性分析。

PSpice 程序具有庞大的元器件库并支持用户自定义模型,用户还可以建立自己的宏模型电路,使得运算放大器、电压比较器等功能模块电路的模拟成为可能。在本教材附录 B 中列出了 Cadence OrCAD 16.5(Demo)提供的各元器件库,其中包括电阻、电容、电感、传输线等无源器件模型,二极管、双极型晶体管、场效应晶体管等半导体器件模型,独立电源、受控电源等各种电源模型以及数模(D/A)、模数(A/D)转换接口电路和各种数字电路器件等。

为了使计算机能正确识别这些元器件,仅有模型是不够的,还需要有能够描述电路行为的语

言,即 SPICE 语言。SPICE 程序最基本的数据与指令输入方式是遵循一定语法规定的特定格式的语句。这些语句主要可以分为电路描述语句、特性分析语句和特性控制语句三大类。

对于初学者而言,用抽象的 SPICE 语言来描述电路(写电路网表)比较困难,因此,Cadence OrCAD 提供了快速直观的原理图编辑工具 Capture/Capture CIS,并且在该环境下集成了电路网表查看工具,方便使用者循序渐进地了解、熟悉和掌握电路的 SPICE 语言。下面给出 SPICE 电路描述语言的基本知识,以方便读者在学习中对照。

1.4.1 输入描述语句的构成

通常,SPICE 文件的第一行是标题行,用于说明文件的内容,中间是电路描述行和控制行,最后是结束行,用 END 标识。除第一行外,以星号“*”开始的行是注释行。若位于第一列的字符是加号“+”,则表明该行是上一行的续行。SPICE 的分隔符号包括空格、逗号、等号以及左右括号。标识符由字母 A~Z 开头,而电路结点名则可以是任意字符串,但“地”结点必须是 0。SPICE 描述语句中要求每个结点都有到地的直流通路,至少与两个元件相连(少数特例除外)。

SPICE 文件由标题语句、注释语句、电路描述语句、电路特性分析和控制语句以及结束语句这五种语句构成,各语句具体说明如下。

1. 标题语句

标题语句是描述文件的第一行,它由任意字符串和字母组成,其内容作为输出文件的第一行被打印出来。这一行必须设置,任何时候 SPICE 都将第一行作为标题行打印而不作为电路的一部分进行分析。

2. 注释语句

为了对网表文件中的描述语句进行说明,可以采用注释语句,其一般形式是“*”后加字符串。注释语句不参与电路的模拟仿真,可以存在于输入文件除第一行和最后一行之间的任何位置。

3. 电路描述语句

描述语句包括定义电路拓扑结构和元件类型及其数值,半导体器件,电路描述语句等。其位置可以在文件的第二行到末行结束语句之间的任何地方。

4. 电路特性分析和控制语句

包括对电路特性的分析,如瞬态特性、频率特性以及输出的控制语句等。

5. 结束语句

结束语句标志着电路描述语句的结束,其格式为:

.END

它位于描述语句文件的最后一行。注意这里 END 和 SPICE 众多语句中特定字符之前的“.”是特定的标识,不能忽略。并且注意,所有语句应从每行的第一个字符位开始。

1.4.2 输入描述语句的规定

电路描述语句由定义电路拓扑结构和元器件参数的元器件描述语句、模型描述语句和电源

语句等组成。SPICE 对输入描述语句中的有关部分做了一些约定,简述如下,读者可参见附录 B 关于 PSpice 中的有关规定部分。

1. 名称

名称的第一个字符必须是 A 到 Z 的某一个字符,其他位字符没有限制,名称、长度最长允许 131 个字符。一般来说,整个名称的长度不超过 8 个字符,实际上名称也只有前 8 个字符是有效的。在描述元件时第一个字符必须是规定的元件类型字母,附录 B.4 列出了 SPICE 中元器件名称的首字母。

2. 结点编号

电路的结点编号一般采用正整数,可以不连续,但不能为负数,也可以用字符串代替结点编号。但是接地点必须规定为 0 结点。

3. 元件参数值

在电路描述语句中,元件参数值写在与该元件相连的结点后面。其值可用整数、浮点数书写,后面可跟(也可不跟)比例因子和(或)单位后缀。

4. 分隔符

一行语句的不同部分用一个或多个分隔符分开。空格、逗号、等号、左括号、右括号等都可以作为分隔符,多余的分隔符是无效的。

5. 续行号

一般一行最多有 80 个字符,如果语句过长,一行无法表达完全,可在第二行的开始加上“+”号,表示是第一行的继续。“+”号的个数不限。

6. 方向

采用常规的习惯标准,规定支路电流的正方向和支路电压的正方向一致。

7. 不能分析的电路

电路中不能包含以下部分:电压源回路、电感回路、电压源和电感组成的回路、开路的电流源和电容、开路的电容。不过这些电路都会在输入文件检查时给出警告。

1.5 Cadence OrCAD 集成环境简介

Cadence 公司是目前业内著名的 EDA 软件提供商,拥有完善的软件体系,软件产品覆盖基本电子线路的仿真、印制电路板(PCB:Printed Circuit Board)设计、集成电路晶体管的仿真、集成电路版图设计和版图验证以及系统级封装设计等,可以用于“电路”、“模拟电子技术”、“模拟集成电路”、“集成电路版图 CAD”以及“电子设计自动化技术”等多门课程的实践教学,为普通高校的 EDA 教学提供一个集成平台,避免不同软件间的系统兼容性问题。此外,Cadence 公司还为广大电子电路设计爱好者和学生提供具有一定功能限制的 OrCAD 软件学习版,虽然学习版提供的元器件库有限,部分高级功能受限,但作为学习 EDA 技术的入门,已能够满足学习需求。

Cadence OrCAD 集成了电路原理图设计软件、数字电路设计软件、数模混合模拟软件以及印制电路板设计等软件功能模块,利用 Capture 软件,能够实现绘制电路原理图以及为制作 PCB 和可编程的逻辑设计提供连续性的仿真信息。软件系统结构如图 1.1 所示,其每一部分可以根据需要独立使用,又可以通过相互之间的内在联系构成一个完整的系统,对设计项目进行统一管理。设计人员不必过多地考虑各个软件之间的调用、设计数据格式和交换格式。

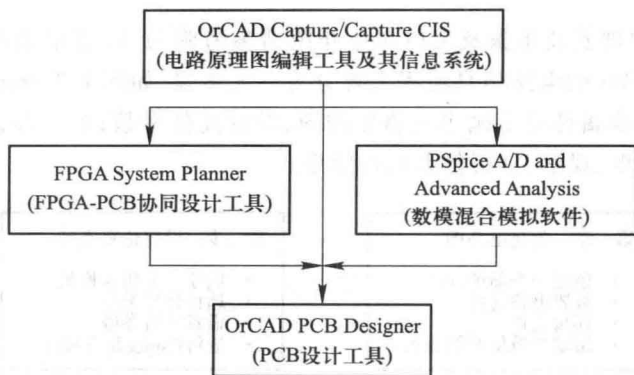


图 1.1 Cadence OrCAD 集成环境示意图

下面简要介绍该软件系统中主要软件的功能。

(1) OrCAD Capture: PSpice 的前端主程序模块。在它的菜单中可以调用与控制其他程序模块的运行,电路仿真分析的全过程均可通过此模块来完成。用户首先在 OrCAD Capture 程序中,根据需要创建、编辑与管理各类模拟电路、数字电路和数模混合电路的电路图,设置仿真分析类型和参数,然后运行仿真分析。因此,它是一个具有强大功能的电路图设计模块。

(2) OrCAD Capture CIS: OrCAD Capture 元器件信息系统 (CIS: Component Information System)。它可对电路中的元器件信息进行管理,还可在设计电路图的过程中,从互联网上的元器件数据库中查阅、调用元器件。

(3) PSpice A/D: 仿真分析程序模块。使用 PSpice A/D 模块除了能够完成对模拟电路、数字电路和数模混合电路的仿真分析外,还提供了一套专门用于观察和测量仿真结果的工具 (Probe),可将仿真分析的结果,以数据或曲线形式在屏幕或打印设备上显示。

(4) PSpice Advanced Analysis: PSpice 高级仿真功能。它以 PSpice A/D 分析为基础,通过高级分析工具来提高设计电路的性能及可靠性。该模块包含五个高级分析功能:

- ① 用于确定电路中的关键元件的灵敏度 (Sensitivity) 分析。
- ② 用于优化关键电路元件参数的优化 (Optimizer) 分析。
- ③ 用于电路成品率统计模型和可生产性的蒙特卡洛 (Monte Carlo) 分析。
- ④ 用于提高电路的可靠性的热电应力 (Smoke) 分析。
- ⑤ 用于扫描测量参数改善波形曲线轨迹的参数测绘仪 (Parametric Plotter Analysis) 分析。