

Technology
实用技术

全華

活用学活

PSpice A/D

陈淳杰 编著
胡小军 审校



科学出版社

活学活用 PSpice A/D

陈淳杰 编著

胡小军 审校

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书的主要内容包括 PSpice A/D 的认知与安装、各种电路分析的方法与应用实例,例如基本直流、交流和暂态分析,温度分析、参数扫描分析、蒙特卡罗分析、最坏情况分析、数字电路分析、模拟电路分析、模拟-数字混合电路仿真以及建立自己的元件库,最后介绍 18 个典型电子电路应用实例。在附录中给出了 PSpice A/D 快速功能索引表等内容。

本书的最大特色是完全以实际的电路为例讲解 PSpice A/D 所有重要功能的操作步骤,使读者从具体的操作实例中了解 PSpice A/D 的各项功能的意义及应用范围。

本书可作为高等院校的电子信息工程、自动化等相关专业师生的参考用书,也可供电子工程专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

活学活用 PSpice A/D/陈淳杰编著;胡小军审校. —北京:科学出版社,2011
ISBN 978-7-03-032696-6

I. 活… II. ①陈… ②胡… III. 电子电路-计算机辅助设计-应用软件, PSpice-高等学校-教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 226852 号

责任编辑:张莉莉 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:李 力

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

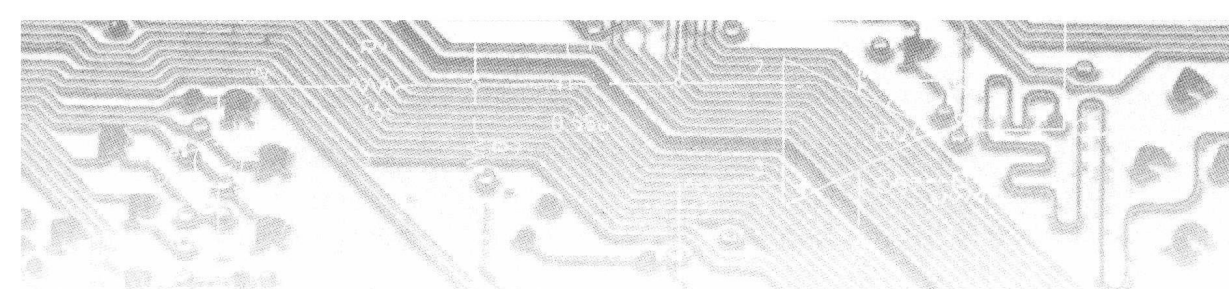
2012 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 1 月第一次印刷 印张: 20

印数: 1—4 000 字数: 378 000

定 价: 45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



作者序

笔者自 1990 年开始使用 4.00 DOS 版 PSpice,之后在 PSpice 台湾总代理映阳科技股份有限公司担任多年的培训讲师,亲身经历 PSpice 从 4.00 版一直到现在 V16.2 版的多次改版;当然,这当中也见证了 PSpice 从 MicroSim 发迹,到并入 OrCAD,最后情定 Cadence Design Systems 这家国际级的 EDA(Electronic Design Automation)公司,算一算也即将届满 20 年……20 年后的今天,笔者也已在中原大学电子工程学系任教多年,深深体会到在当今的电子、电机科技教育中,结合“计算机辅助分析与设计”已经成为“电路设计”相关领域课程极其重要的趋势。最新的研究文献也显示:利用计算机辅助分析与实践、实验的互相结合与并进,已证实可极大提高学生的学习兴趣,进而提升未来设计电路的能力。

因此,笔者以目前最新的 PSpice A/D V16.2 版为基础,配合循序渐进的章节编排,由浅入深地引导读者认识 PSpice A/D 这套功能强大的模拟-数字电路仿真系统。本书的另一项特色是完全以实际的电路为例解说 PSpice A/D 所有重要功能的操作步骤,让读者通过对实例的操作即可了解各功能的意义及应用范围。全书按照软件使用阶段分成“基础篇”、“高级篇”与“实例篇”,每一篇中再按细部功能分为若干章节,全书共 9 章,各章的概要内容如下。

第 1 章概论。简介 PSpice A/D 及其前身 SPICE 的发展历史、软件系统安装步骤及注意事项。

第 2 章基本分析与操作。介绍 OrCAD Capture 中 Schematic Page Editor 窗口的基本操作和 PSpice A/D 直流、交流、瞬态分析的意义及其设置步骤。本章为踏入 PSpice A/D 之门的基础,为了您日后能更顺心地使用 PSpice A/D,建议读者一定要熟读这一章节的内容。

第 3 章基本分析的应用。介绍如何利用直流分析来取代传统的 Curve Tracer 测量晶体管的特性曲线,并介绍灵敏度、传递函数、噪声及傅里叶分析的意义及设定步骤。

第 4 章高级分析法。介绍各种不同的高级分析法的意义及设定步骤,读者可以利用这些高级分析法对所设计的电路做更进一步(如温度、组件误差等效应)的分析与验证,以确保电路的可靠性。

第 5 章数字电路分析法。本章除了介绍 PSpice A/D 在传统数字电路中的组合式逻辑(Combinational Logic)与时序式逻辑(Sequential Logic)电路仿真功能以

外,更进一步介绍“数字电路最坏情况时序”(Worst-Case Timing)及“数字电路自动侦错”两项强大的仿真功能。

第6章系统分析法。介绍如何利用“层次式电路图”及“模拟行为模型”完成较大电路系统的设计与仿真,同时也介绍未来电路设计趋势——模拟-数字混合电路的仿真方法。

第7章建立自己的元件库。按照本章所介绍的操作步骤,读者可以建立完全属于自己的元件库,进而提升电路设计的效率及能力。

第8~9章电子学与电路学应用范例。本书的最后两章分别以12个电子学及6个电路学教科书中常见的电路为例,介绍如何以PSpice A/D完成该电路的仿真,以供学习这些课程的学生借助这些例子反复地练习前几章介绍的各项功能,并且将其与在课堂上所学的内容互相验证,相信必能大大提高学习兴趣。除此之外,对学习电子实验及电路实验课程的学生而言,这些范例也可成为撰写实验预习报告非常好的参考数据。

本书得以在短时间内顺利完成,要再次感谢映阳科技股份有限公司业务副总汤秀珍小姐多年来在软件上的全力支持以及技术支持工程师欣婷小姐在软件安装过程中的诸多协助;全华图书股份有限公司编辑部的同仁及我的博士生吕南谷同学在本书编辑与校对的过程中,提供了许多宝贵的意见,让本书的内容更臻完善,在此一并致谢。虽然在写作过程中,均以最严谨的态度检查所有内容与范例,但限于作者的才疏学浅,不完善之处在所难免,在此恳切盼望各界前辈、有识之士不吝指正,也唯有您的批评与指教,才能使本书的内容更加充实。

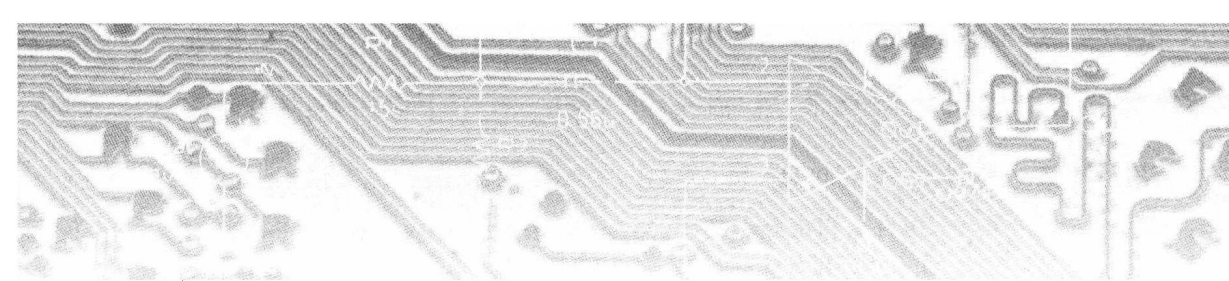
最后,我要再一次感谢我的爱妻——文娟,感谢她过去6357个日子的陪伴及对家庭无怨无悔的付出。在这个外食盛行的时代,她仍然坚持在繁琐的工作及家事之余,为家人准备各式美味又健康的餐点。看着餐桌前小朋友用餐时满足的表情,不时还会冒出一句:“妈妈煮的菜比餐厅还好吃!”我相信那种似乎只会在漫画或卡通中出现的“吃到幸福的感觉”是真的存在的……

另外,家里那位总是让人头痛又疼惜的小可爱,让我在忙碌的教学与研究生活中,总能找到心灵歇息的角落与更新的动力。今年过生日时,四岁半的小可爱帮我唱完生日快乐歌,抢着在吹蜡烛前许愿希望“爸爸身体健康”,随后将小脸贴在我耳边再轻声补上一句“也要快快乐乐哟……”让我一时竟接不上话,泪水在眼眶打转,久久不能自己……天下还有什么比从自己的小宝贝口中听到如此贴心祝福还要快乐感动的事吗?常言道:“为母则强”,我想若在这句话后面再补上一句“为父则柔”,真是再贴切不过了……

陈淳杰 谨识

于 中坻 普仁岗

(作者现职为中原大学电子工程学系助理教授)



目 录

基础篇

第 1 章	概 论	3
1.1	认识 PSpice A/D	3
1.2	PSpice A/D 的安装	6
1.3	PSpice A/D 的使用说明	14
第 2 章	基本分析与操作	18
2.1	基本直流分析	18
2.2	基本交流分析	46
2.3	基本暂态分析	51
	习 题	60
第 3 章	基本分析的应用	61
3.1	利用直流分析测量晶体管特性曲线	61
3.2	利用交流分析计算晶体管电路的频率响应	64
3.3	晶体管差动放大(Differential Pair)电路的分析	69
	习 题	81

高级篇

第 4 章	高级分析法	85
4.1	温度分析	85
4.2	参数扫描分析与 Measurement Expression	89
4.3	蒙特卡罗分析(Monte Carlo Analysis)	106
4.4	最坏情况分析(Worst Case Analysis)	115
	习 题	119

第 5 章 数字电路分析法	120
5.1 组合逻辑电路分析	120
5.2 时序逻辑电路分析	122
5.3 Digital Worst-Case Timing 分析	134
5.4 数字电路自动侦错功能	139
习 题	144
第 6 章 系统分析法	146
6.1 层次式电路图	146
6.2 模拟行为模型分析	150
6.3 Implementation 属性的应用	158
6.4 模拟-数字混合式电路的仿真	162
习 题	166
第 7 章 建立自己的元件库	167
7.1 PSpice A/D 元件库的基本概念	167
7.2 元件符号编辑器(Part Editor)	172
7.3 元件式的层次结构	180
习 题	193

实例篇

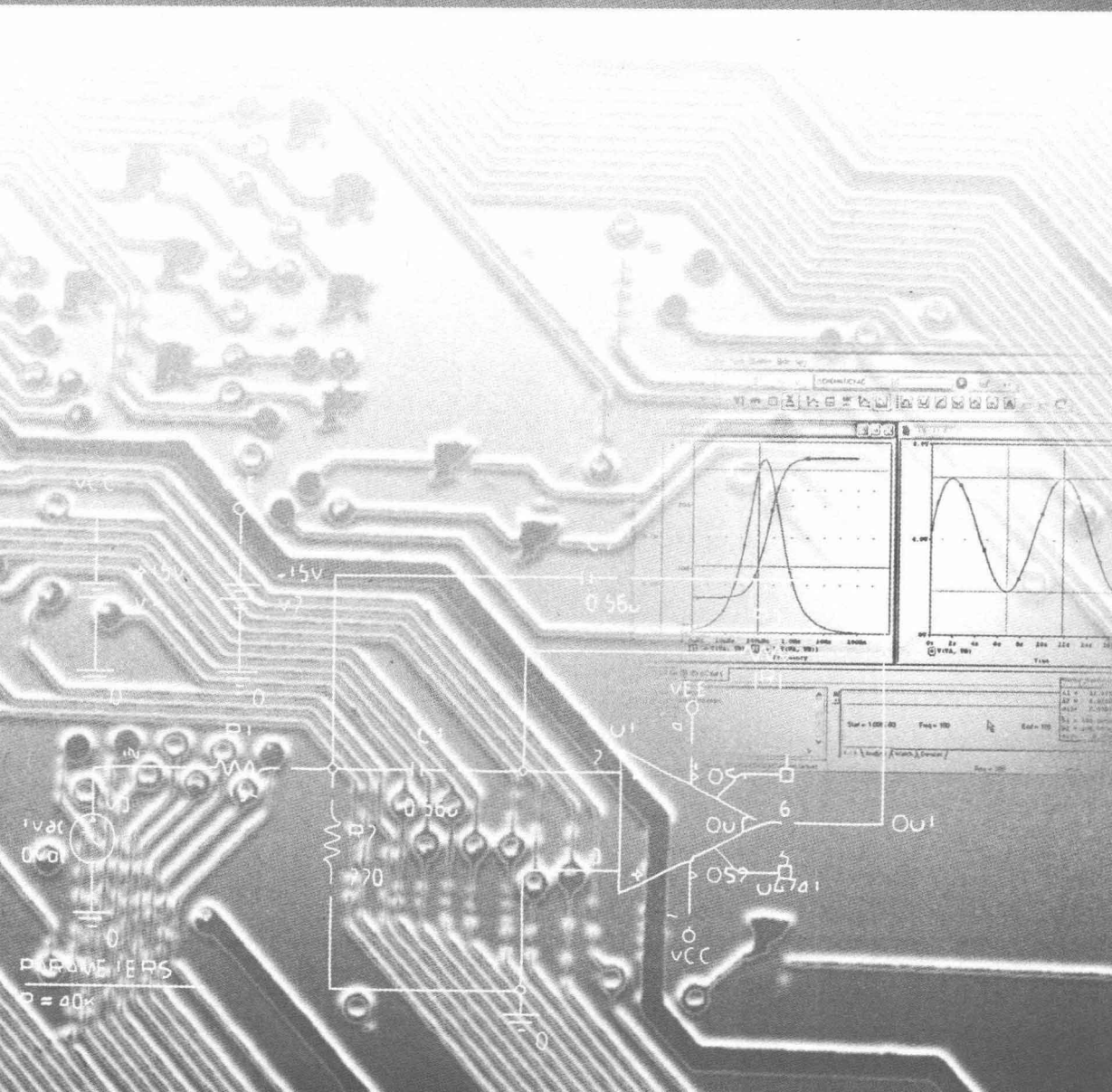
第 8 章 电子学应用范例	197
8.1 桥式整流器(Bridge Rectifier)	197
8.2 限幅电路(Limiter Circuits)	199
8.3 箝位电路(Clamping Circuits)	200
8.4 倍压器(Voltage Doubler)电路	202
8.5 稳压(Voltage Regulator)电路	202
8.6 负阻抗转换器(NIC)	205
8.7 积分器与微分器(Integrator and Differentiator)	207
8.8 史密特触发器(Schmitt Trigger)	211
8.9 LC 振荡器电路(LC Oscillator)	213
8.10 CMOS 电路直流偏置点的计算	214
8.11 CMOS 反相器(Inverter)电路	220
8.12 CMOS 放大器(Amplifier)电路	225

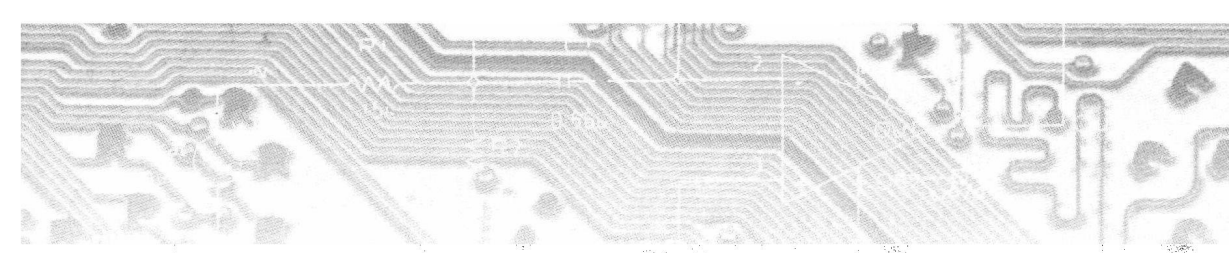
第 9 章 电路学应用范例	232
9.1 基尔霍夫(Kirchhoff)定律与节点/网格(Nodal/Mesh) 分析	232
9.2 线性非时变网络(Linear Time-Invariant Networks)	233
9.3 开关电路(Switch Circuits)	235
9.4 双端口网络(Two-Port Networks)	238
9.5 三相电路(Three Phase Circuits)	240
9.6 非线性电阻电路(Nonlinear Resistor Circuits)	243

附 录

附录 1 OrCAD Capture 的电路布局输出	249
附录 2 PSpice A/D 中的数学函数	255
附录 3 模拟元件的描述格式及半导体元件的模型参数	258
附录 4 数字元件的描述格式	291
附录 5 Schematic Page Editor 功能索引表	303
附录 6 PSpice A/D 窗口功能索引表	307

基础篇





第 1 章 概 论

1.1 认识 PSpice A/D

学习目标

- 简介 PSpice A/D 的发展过程及系统架构

PSpice A/D 是全球最大的 EDA Tools 公司 Cadence Design System, Inc. 在购并 OrCAD 公司之后,将众所皆知的 PSpice 整合原有 OrCAD 系统(包含“电路图输入”的 OrCAD Capture 及“印刷电路板布局”的 OrCAD PCB Editor)而成的一套计算机辅助电路分析软件。所以在介绍 PSpice A/D 之前,我们先介绍其“身世”,如此才能对其有更完整的认识。

1.1.1 SPICE 的起源

SPICE 的全称是“特别为集成电路仿真的程序”(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis),由此我们便可以清楚地了解到,SPICE 这套程序原先发展的目的是为了仿真电子系统中日益重要的集成电路。由于集成电路不像传统电路一样,可以在面包板(breadboard)或印刷电路板(printed circuit board)上做实验来验证设计结果。为了提高集成电路正式生产时的良率(yield)及降低成本,势必要在进入实际制作阶段前,对其电路特性做“检查”,确保其性能在规格范围之内。于是,在 1970 年代初,美国加州大学伯克利分校(University of California, Berkeley)以一名为“CANCER”的电路仿真程序为蓝本,发展出今日几乎被全世界公认为电路仿真标准的 SPICE 原始雏形程序。同时在以后几年内,陆续推出改进版本,而在这众多的改进版本中,最重要的是 SPICE2 及 SPICE3 系列。现在在市面上所能看到的许多 SPICE 同类软件,如 PSpice A/D(Cadence Design System, Inc.),Star-Hspice(Synopsys)、IsSpice4(Intusoft)、TINA(DesignSoft)等,均是以 SPICE2 或 SPICE3 系列为基础再加改进而成的商业化产品。其中在各学校相关

专业中使用最广泛的,就非 PSpice A/D 莫属了。

1.1.2 PSpice A/D 的发展简史

PSpice 原先是 MicroSim 公司在 1984 年以 SPICE2 系列中的 SPICE2G.6 为蓝本,将其改为可在 IBM-PC 及其相容机型计算机上执行的电路仿真软件。由于近年来 PC 的迅速普及、再加上 PSpice 提供了专为学生学习使用的免费试用版 PSpice,使得 PSpice 在短短几年间,便深入各个学校的每一个角落,而成为使用率最高的电路仿真软件。发展至今,PSpice 也同时突破了原先发展 SPICE 的原始目标——集成电路模拟,而跨入印刷电路板电路的领域,使 PSpice 的应用范围更为广泛。

PSpice 继承了 SPICE2G.6 的功能,原先以 FORTRAN 语言编写,直到 3.00 版(1986 年 12 月)改以 C 语言重新编写,4.00 版(1988 年 11 月)以后更加入模拟行为模型(Analog Behavioral Model)及数字电路(Digital Circuit)的仿真功能,不但使 PSpice 得以更方便地仿真较大的电路系统;同时也让向来被认为只能仿真模拟电路(Analog Circuit)的 PSpice 正式跨进“模拟-数字混合式模拟”(Mixed-Mode Simulation)的新时代。

1991 年, MicroSim 公司为克服传统 SPICE 程序只能接受文字文件输入的障碍,开发了新的电路输入工具——Schematics。从此 PSpice 的使用者不用再辛苦地用键盘“键”入所要仿真的电路,而可在计算机屏幕上画完电路图后便可直接调用程序进行仿真。1992 年, MicroSim 将原有的 PSpice 与 Schematics 加以整合,成为一套功能更加完美的整合性电路仿真软件,并正式更名为 Design Center。1998 年, OrCAD 和 MicroSim 这两家在“电子设计自动化”(Electronic Design Automation)业界具有举足轻重地位的公司宣告合并,软件并再度更名为 OrCAD PSpice。1999 年, Cadence Design System, Inc. 宣布购并 OrCAD 公司,并整合其下 OrCAD 家族系列产品至其产品线。至今, PSpice A/D 便以其高度整合功能,提供给使用者一个完整的电子电路“设计实验室”。到 2009 年为止, PSpice A/D 已推出其最新版本——Release V16.2 版,下面将介绍这个版本的各项强大功能。

1.1.3 PSpice A/D 的家族成员

1. OrCAD Capture

相当于一个软件的“面包板”,使用者可在此画好电路图后再调用 PSpice A/D 进行电路仿真与显示分析结果。

2. PSpice A/D

负责执行模拟、数字或混合式(Mixed-Mode)电路的仿真,借由其仿真计算结果提供进一步的观察与分析。并于仿真结束之后,提供一个相当于软件“示波器”、“网络分析仪”、“频谱分析仪”、“Curve Tracer”及“逻辑分析仪”(数字电路专用)的

波形显示界面 Probe 窗口,使用者不但可以在此窗口上显示电路中的各个电压、电流、功率及噪声等重要电气特性值,更可以利用其强大的数据处理功能显示许多重要的输出统计数据。

3. Stimulus Editor

相当于一个软件的“信号发生器”,可编辑多种模拟与数字信号,若经进一步处理,还可以产生许多一般信号发生器无法发生的特殊波形[试用版仅限于编辑模拟的正弦(Sinusoidal)波及周期性的数字时钟(Clock)信号,所幸这部分的功能还有其他方式(请参考 2.3 节及 5.2 节)可以补足,影响不致太大]。

4. Model Editor

利用此功能,使用者可以自行建立 PSpice A/D 未提供的元件仿真参数,包括 Diode, BJT, JFET, MOSFET, IGBT, Operational Amplifier, Voltage Comparator, Voltage Regulator, Voltage Reference, Magnetic Core 及 Darlington Transistor 等 11 种元件(试用版仅限于二极管元件)。

5. PSpice Advanced Analysis(选购)

这是 PSpice A/D 整合原有的进阶分析[参数扫描、蒙特卡罗、最坏情况(Worst-Case)等],再新增 Smoke Analysis 及 Optimizer 等功能而成的新模块。

6. PSpice Advanced Analysis Optimizer(选购)

电路设计最优化软件。使用者可在既有的电路架构下执行此软件,系统便会自动计算出可使电路特性达到各项规格要求的各个元件值,大幅缩短设计过程中常见的“尝试错误”(Trial and Error)时间(试用版仅限两个元件值对一项规格做最优化)。

另外,OrCAD 家族还包含了 OrCAD PCB Editor(印刷电路板布局布线软件)及 SPECCTRA(印刷电路板自动布线器)选购软件,帮助使用者在“电子设计自动化”过程中能够得到更好的整合功能。

1.1.4 PSpice A/D 的特色

① 为目前各同级电路仿真软件中功能整合性最高者。从以 OrCAD Capture 画电路图(取代过去繁杂的文字文件)输入,调用 PSpice A/D 仿真(在此过程中并可搭配使用 PSpice Advanced Analysis Optimizer 来“最优化”所设计的电路特性),到利用高整合度的互动式界面,直接由电路图调用 Marker 选取所要显示的各种波形,直至到利用 OrCAD PCB Editor 及 SPECCTRA 绘制布局图,避免自行绘制的麻烦。所有步骤一气呵成,让您以最低成本拥有一间设备完善的个人专属电子实验室(包含面包板、电源供应器、信号发生器、Curve Tracer、示波器、网络分析仪、频谱分析仪及逻辑分析仪等昂贵仪器),协助您以最快的速度完成所有的计划。

② 除包含 SPICE 原有的模拟仿真功能外,还添加了数字与模拟-数字混合电

路的仿真,让您也得以紧随最新的电子技术潮流,设计出更好的电路系统。

③ 结合 digital worst-case timing 及自动侦错的数字电路仿真功能,使您在设计数字电路时更加得心应手。

④ 层次式电路图及仿真方式,提供给您 Top-Down 及 Bottom-Up 两大设计方向。让您在设计较大系统的电路时,有如虎添翼之势。

⑤ 完善的元件库管理系统,如开放式的模拟、数字元件库,让您得以自由地修改(配合 PSpice Model Editor 功能)现存的任何元件模型以符合自己的需要,层次式的电路元件更使您可以完整地保留过去所设计的电路,建立自定义的电路数据库。

⑥ 模拟行为级仿真(Analog Behavioral Model),提供给您一个简便的方式仿真某一元件或子电路,再配合上述的层次式电路图,仿真系统层级的电路将更方便。除此之外,也可以推广到非电子电路系统的仿真与分析。

⑦ 交互式的“软件信号发生器”(PSpice Stimulus Editor),方便您做信号的产生与编辑。

⑧ 功能强大的 Probe 窗口,可在同一屏幕上同时显示相当于 Curve Tracer、示波器、网络分析仪、频谱分析仪及逻辑分析仪个别所能显示的波形(此五种波形形态各异),再加上能够显示分析结果的统计数据,堪称“一机六用”。

⑨ 高整合性的统计分析,如“蒙特卡罗分析”(Monte-Carlo Analysis)及“最坏情况分析”(Worst-Case Analysis),方便您验证所设计电路的可靠性(Reliability)。

⑩ 电路设计最优化(PSpice Advanced Analysis Optimizer)功能,让您在最短时间、最省人力的情况下完成设计。(选购)

⑪ 整合印刷电路板布局布线软件 OrCAD PCB Editor,大大提高了 PSpice A/D 在相关软件上的整合程度。(选购)

正因为 PSpice A/D 具有上述高整合环境的强大功能,相信它必定可以成为您电路设计过程中最佳的伙伴。

1.2 PSpice A/D 的安装

学习目标

- 了解 PSpice A/D 的安装步骤及其使用流程

在介绍 PSpice A/D 安装步骤前,您必须了解,若要顺利地使用 PSpice A/D,所需要的基本配备如下:

- ① Pentium 4 等级以上的主机。
- ② 512MB 以上的内存(越多当然越好)。

- ③ 1GB(试用版)/2GB(专业版)以上的硬盘空间。
- ④ 鼠标。
- ⑤ 并行接口(Parallel Port)(连接专业版保护装置)或 USB 接口。
- ⑥ 光盘驱动器。
- ⑦ 可支持 Windows 2003 Server(仅 32 位)、Windows XP Professional、Windows XP Home、Windows Vista Enterprise(32 位)、Windows Vista Home Premium 的中文或英文软件环境¹⁾。

说明:Windows Vista 必须关闭控制台/使用者账户内的 UAC(使用者账户控制)项目;OrCAD Capture 不支持 Windows NT、Windows 2000 及 Windows Vista Home Basic;OrCAD Capture 不支持 IPF chip(Intel Itanium 64 位)。在 Windows Server 的环境下,不能以 Windows Remote Desktop(远端桌面连线)的方式执行。

1.2.1 PSpice A/D 试用版的限制

① 可执行仿真分析的电路不可超过 64 个节点(纯数字电路不可超过 250 个节点)或 20 个晶体管或两个子电路或 65 个数字元件或 10 个传输线元件(包括理想与非理想传输线),以上的限制值均是粗估值,实际的限制需再视元件模型的复杂程度而定。

② 随系统所附的符号元件库文件(Eval. olb)仅包含 39 个模拟及 134 个数字元件。

③ Model Editor 仅可编辑二极管元件模型。

④ Stimulus Editor 仅可编辑模拟的正弦(Sinusoidal)波及周期性的数字时钟(Clock)信号。

⑤ OrCAD Capture 不可存储超过 60 个元件的电路图文件(*.dsn)及超过 15 个元件的符号元件库文件(*.olb);同时也不能编辑超过 14 个引脚的元件符号。

⑥ OrCAD Capture 仅可编辑 A size 的图面。

⑦ PSpice Advanced Analysis 中的 Smoke Analysis 仅限二极管、晶体管、电阻及电容;Optimizer 仅限两个元件值对一项规格做最优化。

1.2.2 PSpice A/D 的安装步骤

以下所述的安装步骤,是针对 PSpice A/D V16.2²⁾ 试用版而言,若您是专业版的使用者,安装步骤会有一些不同,请您自行参考安装过程中的附加说明。

- ① 开机并启动操作系统。
- ② 打开 PSpice A/D 安装程序所在文件夹。
- ③ 单击 Setup 应用程序,会出现如图 1.1 所示的安装界面。

1) 也支持 Windows 7。

2) 现在市面上已有 V16.5 版。——校者

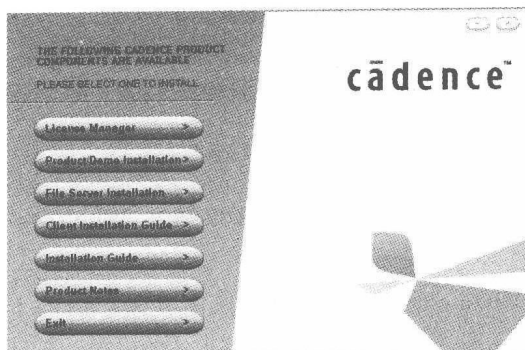


图 1.1

④ 单击“Product/Demo Installation”，此时屏幕上会出现如图 1.2 所示的界面，请您稍候，等待安装向导(InstallShield Wizard)准备就绪。

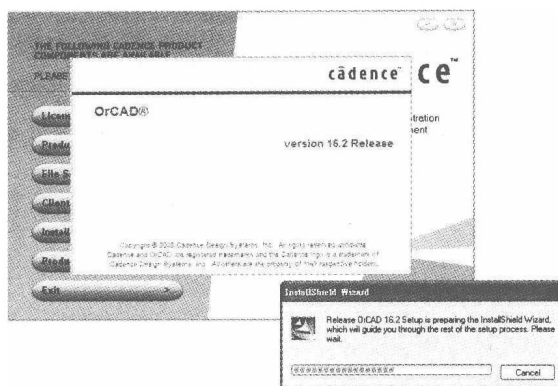


图 1.2

⑤ 选中图 1.3 所示的授权同意书中的“I accept the terms of the license agreement”，以便进行后续安装；如不同意则无法继续进行安装。

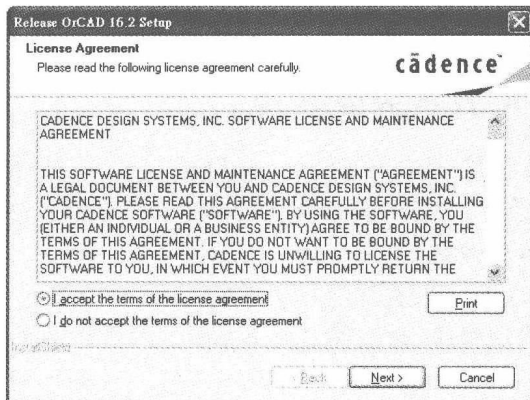


图 1.3

⑥ 接下来,系统会建议您关闭目前正在执行的杀毒或防火墙软件,以利于安装步骤的进行(如图 1.4 所示)。

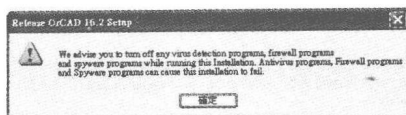


图 1.4

⑦ 如果您是专业版的使用者,在购买 OrCAD 系列产品后会收到原厂寄来的安装项目控制文件(Control File),此时您就要将存储该文件的完整路径及文件名输入图 1.5 中的空格。至于试用版的使用者并没有这个文件,所以只要直接单击“Next>”键即可。

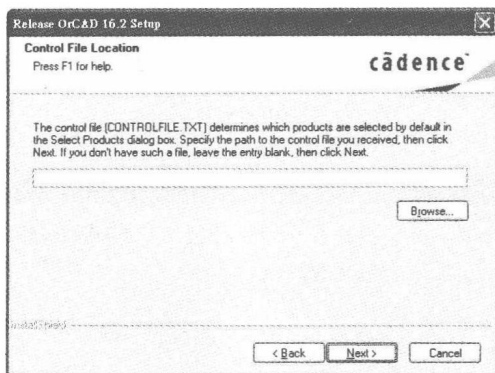


图 1.5

⑧ 在图 1.6 对话框的空格中输入所要安装的路径名称(系统默认的安装路径为 C:\OrCAD\OrCAD_16.2),您可依自己的喜好单击“Browse”键加以修改。确认无误后即可单击“Next >”键,随后出现如图 1.7 所示的对话框。

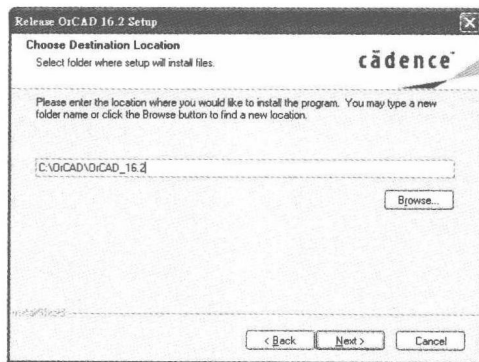


图 1.6

⑨ 将图 1.7 中的 ALLORCAD16.2Products 选项展开(如图 1.8 所示),此列表示出了完整的 OrCAD 系列产品。以本书所介绍的 PSpice A/D 来说,选择 Or-