

CEKONG JISHU YU YIQI

测控技术与仪器专业

本科系列教材

# 电子电路 CAD

*Dianzi Dianlu CAD*

潘银松 主编

曹小丽 副主编

CEKONG JISHU YU YIQI



重庆大学出版社

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

# 电子电路 CAD

潘银松 主 编  
曹小丽 副主编

重庆大学出版社

## 内 容 简 介

本书以 OrCAD 软件为基础,介绍了电子电路的设计方法,包括电路原理图的绘制、电路特性分析、波形显示、逻辑模拟和数模混合模拟、优化设计和电路印制板的设计。本书从基本概念入手,并结合具体实例说明主要命令的功能和使用方法,使读者学完本书后,能够用 OrCAD 软件从事电子电路设计方面的工作。

本书可作为高等学校测控仪器类、电子信息类、电气信息类、自动化类及其他相近专业本科生电子电路 CAD 课程的教材和教学参考书,也可作为从事电子电路 CAD 的工程技术人员参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子电路 CAD/潘银松主编. —重庆:重庆大学出版社,2007.3

(测控技术与仪器专业本科系列教材)

ISBN 978-7-5624-3947-9

I. 电… II. 潘… III. 电子电路—电路设计:计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 017723 号

## 电子电路 CAD

潘银松 主 编

曹小丽 副主编

责任编辑:曾显跃 版式设计:曾显跃

责任校对:李定群 责任印制:张 策

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: [fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆科情印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:17.5 字数:437 千

2007年3月第1版 2007年3月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-3947-9 定价:26.00 元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 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,设计工具也趋于完美,已成为现代电子产品设计不可缺少的工具,从电路设计、模拟仿真到电路印制板设计都离不开 CAD 技术。同时,CAD 技术也是提高设计效率,降低成本,增强可靠性的重要手段,因此,CAD 技术是设计人员必须具备的知识。

国内许多大学都先后开设了关于电子电路计算机辅助设计的课程,使学生在了解 CAD 基本概念的基础上,掌握一些基本的电子电路 CAD 软件的使用方法。在 20 世纪 90 年代初,我们就开始在科研方面应用 CAD 技术,主要利用电路仿真工具(PSPICE)进行集成电路的电路设计与仿真。1999 年开始为硕士研究生和博士研究生开设电子电路 CAD 技术的课程,2001 年为本科生开设该课程,取得了良好的效果。学生能够较好地运用电子 CAD 技术进行课程设计、毕业设计等工作。根据在科研和教学活动中取得的经验,结合教学要求,编写了本教材。

全书分为 8 章。第 1 章,简要介绍电子电路 CAD 的基本概念和 OrCAD 软件的结构组成与功能特点;第 2 章,详细介绍正确绘制电路图的方法;第 3 章,介绍电路基本特性的分析方法,包括直流分析、交流小信号分析、瞬态分析;第 4 章,介绍模拟电路的温度分析、参数扫描分析、蒙特卡诺分析和最坏情况分析;第 5 章,介绍电路模拟结果的显示和分析处理,包括电路的性能分析和直方图绘制;第 6 章,介绍数字电路的模拟、数模混合电路的模拟以及最坏情况逻辑模拟的具体方法;第 7 章,介绍电路优化设计的功能和方法;第 8 章,介绍电路印制板设计的方法和后处理方法。

本书由袁祥辉教授审稿,潘银松担任主编,曹小丽担任副主编。本书第1章、第3章、第4章、第6章、第8章和附录由潘银松编写;第5章由曹小丽编写;第2章由薛联编写;第7章由孟丽娅编写;程瑶和程玉龙参加了部分章节的编写和修改工作。

由于编者水平和时间所限,书中不当之处和错误在所难免,敬请广大读者和专家批评指正。

编者

2007年1月

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 电子电路 CAD 和 EDA 技术 .....	1
1.2 电子电路 CAD 软件 OrCAD .....	2
1.3 OrCAD 软件的功能特点 .....	4
1.4 OrCAD/PSpice A/D 软件的有关规定 .....	5
第 2 章 电路原理图的绘制及后处理 .....	12
2.1 电路图设计软件 OrCAD/Capture .....	12
2.2 电路图编辑模块 Page Editor .....	16
2.3 电路图的绘制 .....	25
2.4 电路图的编辑修改 .....	41
2.5 电路图的显示和打印输出 .....	50
2.6 电路图的后处理 .....	53
2.7 OrCAD/Capture 中的电路设计 .....	63
第 3 章 电路的基本特性分析 .....	70
3.1 模拟电路分析的基本过程 .....	70
3.2 直流特性分析 .....	72
3.3 交流特性分析 .....	81
3.4 瞬态特性分析 .....	86
3.5 模拟激励信号的设置 .....	94
第 4 章 参数扫描分析和统计分析 .....	99
4.1 温度分析 .....	99
4.2 参数扫描分析 .....	101
4.3 蒙特卡诺分析 .....	106
4.4 最坏情况分析 .....	112
4.5 输出文件 .....	115
4.6 PSpice 中的任选项设置 .....	118

<b>第 5 章 波形显示和电路性能分析</b> .....	122
5.1 Probe 运行模式的设置和调用 .....	122
5.2 Probe 运行环境的设置 .....	125
5.3 Probe 的命令系统 .....	128
5.4 信号波形的显示及处理 .....	135
5.5 多信号波形的显示方法 .....	143
5.6 电路性能分析 .....	146
5.7 直方图绘制 .....	155
5.8 傅里叶变换 .....	158
5.9 波形显示标示符 .....	159
<b>第 6 章 逻辑模拟和数/模混合模拟</b> .....	162
6.1 概述 .....	162
6.2 逻辑模拟 .....	165
6.3 数/模混合电路的模拟 .....	175
6.4 逻辑模拟的最坏情况分析 .....	176
<b>第 7 章 电路的优化设计</b> .....	182
7.1 概述 .....	182
7.2 PSpice 优化设计模块的命令系统 .....	184
7.3 优化设计的进行和结果显示分析 .....	188
7.4 优化设计实例 .....	189
<b>第 8 章 印制电路板的设计</b> .....	197
8.1 印制电路板设计基础 .....	197
8.2 印制板设计的基本方法 .....	201
8.3 印制板编辑窗口及环境设置 .....	208
8.4 印制板布局 .....	215
8.5 印制板布线 .....	224
8.6 高级自动布线器 .....	237
8.7 设计规则检查与布线密度分析 .....	243
8.8 Layout Plus 中的其他功能 .....	245
8.9 元器件封装的创建 .....	254
8.10 PCB 设计的后处理 .....	257

附录 .....	264
附录 1 Probe 模块中的快捷键及功能 .....	264
附录 2 PSpice 中的特征值函数及功能 .....	265
附录 3 Layout Plus 软件中的工具按钮及功能 .....	266
参考文献 .....	268



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 电子电路 CAD 和 EDA 技术

电子电路 CAD(Computer Aided Design)技术是指以计算机硬件和软件为基本工作平台,继承和借鉴前人在电路和系统、图论、拓扑逻辑优化和人工智能理论等多学科的最新科技成果而研制成的通用支撑软件和应用软件包,帮助设计人员开发新的电子系统与电路、集成电路(IC)、印制电路板(PCB)、现场可编程门阵列(FPGA)、复杂可编程逻辑器件(CPLD)等产品,实现在计算机上调用元器件库、绘制电路图、编制激励信号文件、确定跟踪点、调用参数库以及模拟程序等手段去设计电路。

电子设计自动化(EDA)技术是从计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助测试(CAT)和计算机辅助工程(CAE)的概念发展而来的。EDA技术就是以计算机为工具,在EDA软件平台上,对用硬件描述语言HDL为系统逻辑描述手段完成的设计文件,由计算机自动地完成逻辑编译、逻辑化简、逻辑分割、结构综合、布局和布线,以及逻辑优化和仿真测试,直至对于特定目标芯片的适配编译、逻辑映射和编程下载等工作,以实现既定的电路系统功能。EDA技术的出现,使得设计人员能够利用硬件描述语言和EDA软件实现系统硬件功能,极大地提高了电路设计的效率和可靠性,减轻了设计人员的劳动强度。

EDA技术可以看做是电子电路CAD技术的高级阶段,电子电路CAD可以看做是EDA的初期和基础。从过去的30年电子技术发展的历程看,可大致将EDA技术的发展分为三个阶段。

20世纪70年代,集成电路制作方面,MOS工艺已得到广泛的应用。可编程逻辑技术及其器件已经问世,计算机作为一种运算工具已在科研领域得到广泛应用,而在后期,CAD的概念已见雏形。这一阶段人们开始利用计算机取代手工劳动,辅助进行集成电路版图编辑、PCB布局布线等工作。

20世纪80年代,集成电路设计进入了CMOS(互补场效应管)时代。复杂可编程逻辑技

术器件已经进入商业时代,相应的辅助设计软件也已投入使用。而在 80 年代末,FPGA,CAE 和 CAD 技术得到更为广泛的应用,在 PCB 设计方面原理图输入、自动布局布线及 PCB 分析,以及逻辑设计、逻辑仿真、布尔方程综合和化简等方面担任了重要的角色,特别是各种硬件描述语言的出现、应用和标准化方面的重大进步,为电子设计自动化必须解决的电路建模、标准文档及仿真测试奠定了基础。

进入 20 世纪 90 年代,随着硬件描述语言标准化的进一步确立,计算机辅助工程、辅助分析和辅助设计在电子技术领域获得更加广泛的应用,与此同时,电子技术在通信、计算机及家电产品生产中的市场需求和技术需求,极大地推动了全新的电子设计自动化技术的应用和发展。特别是集成电路设计工艺步入了超深亚微米阶段,百万门以上的大规模可编程逻辑器件的陆续面世,以及基于计算机技术的低成本大规模 ASIC 设计技术的应用,促进了 EDA 技术的形成。更为重要的是各 EDA 公司致力于推广兼容各种硬件实现方案和支持标准硬件描述语言的 EDA 工具软件的研究,都有效地将 EDA 技术推向成熟。

EDA 技术在进入 21 世纪后,得到了更大的发展,突出表现在以下几个方面:

①电子设计成果以自主知识产权的方式得以明确表达和确认成为可能。

②在仿真和设计两方面支持标准硬件描述语言的功能强大的 EDA 软件不断推出。

③电子技术全方位纳入 EDA 领域,除了日益成熟的数字技术外,传统的电路系统设计建模理念发生了重大的变化:软件无线电的崛起,模拟电路系统硬件描述语言的表达和设计的标准化,系统可编程模拟器件的出现,数字信号处理和图像处理的全硬件实现方案的普遍接受,软硬件技术的进一步融合等。

④EDA 使得电子领域各学科的界限更加模糊,更加互为包容:模拟与数字、软件与硬件、系统与器件、ASIC 与 FPGA、行为与结构等。

⑤更大规模的 FPGA 和 CPLD 器件的不断推出。

⑥基于 EDA 工具的 ASIC 设计标准单元已涵盖大规模电子系统及 IP 核模块。

⑦软硬件 IP 核在电子产业的产业领域、技术领域和设计应用领域得到进一步确认。

⑧片上系统(SOC)高效低成本设计技术的成熟。

## 1.2 电子电路 CAD 软件 OrCAD

OrCAD 软件是由 OrCAD 公司于 20 世纪 80 年代末推出的 EDA 软件,使用广泛,功能强大。早期的 OrCAD 软件是工作于 DOS 环境下的 OrCAD 4.0,集成了电路原理图绘制、印制电路板设计、数字电路仿真、可编程逻辑器件设计等功能,且界面友好、直观,元器件库也是所有 EDA 软件中最丰富的。OrCAD 公司与 Cadence 公司合并后,使之成为世界上最强大的开发 EDA 软件的公司,其产品 OrCAD 系列软件可工作于 Windows 95 与 Windows NT 环境下,集成了电路原理图绘制、印刷电路板设计、模拟与数字电路混合仿真等功能。它的电路模拟的元器件模型库已达到 16 000 个,包含了几乎所有的通用型电路元器件模块,其软件系统结构如图 1.1 所示。

OrCAD 软件系统中的每一部分可以根据需要单独使用,各部分相互之间又有内在联系,共同构成一个完整的 EDA 系统,对设计项目实施统一管理。设计人员不必过多地考虑各个软

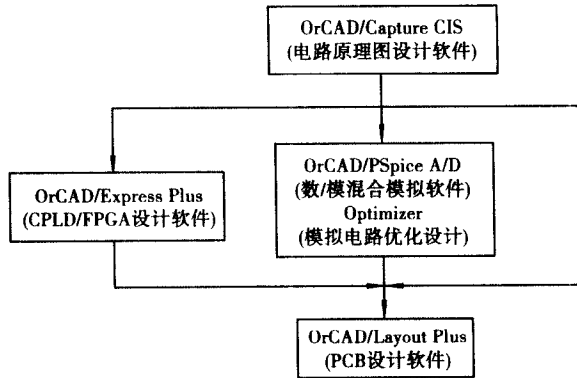


图 1.1 OrCAD 软件系统构成框图

件间的调用、设计数据格式和交换方式,可以将主要精力放在电路设计本身。下面简要介绍 OrCAD 软件系统中主要软件的功能。

#### (1) OrCAD/Capture CIS

这是一个功能强大的电路原理图设计软件,除可生成各类模拟电路、数字电路和数/模混合电路的电路原理图外,还配备有元器件信息系统 CIS(Component Information System),可以对元器件的采用实施高效管理。该软件还具有 ICA(Internet Component Assistant)功能,可在设计电路图的过程中从 Internet 的元器件数据库中查阅、调用上百万种元器件。

#### (2) OrCAD/PSpice A/D

这是一个通用电路模拟软件,除可对模拟电路、数字电路和数/模混合电路进行模拟外,还具有优化设计的功能。该软件中的 Probe 模块,不但可以在模拟结束后显示信号波形,而且还可以对波形进行各种运算处理,包括提取电路特性参数,分析电路特性参数与元器件参数的关系。

#### (3) OrCAD/Express Plus

这是一个逻辑模拟软件。可进行 Capture 生成的数字电路门级模拟,一直到 VHDL 综合和仿真。可进行 10 万门以上的 CPLD、FPGA 和 ASIC 设计。在设计中,可应用 Xilinx、Altera、Lattice、Lucent、Actel、Philips 和 Vantis 等厂家生产的器件。

#### (4) OrCAD/Layout Plus

这是一个印刷电路板(PCB)设计软件,可直接将 OrCAD/Capture 生成的电路图通过手工或自动布局布线方式转为印制板设计。在整个设计过程中,可以创建共享的 PCB 数据,从 Capture CIS 开始,自动获取完整的元器件信息,增加设计约束和其他属性,还可以交换平面布置信息,包括电路板轮廓、安装孔、高度限定、布线区域限定等。完成 PCB 设计后,可生成三维显示模型,也可直接生成 Gerber 光绘文件。

### 1.3 OrCAD 软件的功能特点

OrCAD 软件是集电路原理图绘制、印刷电路板设计、模拟与数字电路混合模拟等功能于一体的电子电路 CAD 软件。具有如下功能特点:

#### (1) 高集成性

将各模块软件集成在一个软件包中,实现信息的共享和自动交换,电路设计完成后,可以在同一个运行环境下直接调用 OrCAD/PSpice 软件,对电路进行模拟分析和与印制板设计软件 OrCAD/Layout 间的连接也非常方便,还具有设计变更的自动前向传递(Forward Annotating)、反向传递(Back Annotating)和信息的参照显示(Cross-Probing)。在 Capture 中对电路的修改,能自动传递到 PCB 设计中,在 PCB 设计时可将参考标识符、管脚和门交换、物理元件放置信息、设计约束等的变更反向传递到原理图中,还可以进行 CPLD/FPGA 的设计。

#### (2) 模块化、层次化设计和按项目有效管理

OrCAD 软件提供了模块化和层次化设计的功能。可将整个电路按功能或特性分割成若干个子电路,先对每个子电路进行绘制和模拟,最后对整个电路进行模拟。

OrCAD 软件包对电路设计采用项目管理,不但能引导电路图的绘制,而且还延伸到对电路图的模拟仿真和印制板设计管理。与同一个电路设计相关的电路原理图、模拟和印制板设计中采用的参数设置、设计资源、生成的各种文件、分析结果等内容,均以设计项目(Project)的形式统一保存,这有助于对设计的有效管理。

#### (3) 强大的电路模拟和波形显示功能

除支持基本的直流、交流和瞬态分析外,还可进行温度分析、参数扫描分析、蒙特卡诺分析和最坏情况分析。不仅可以进行模拟电路的分析,还可进行数字电路和数/模混合的模拟分析。

在波形显示方面,OrCAD 软件提供了一个 Probe 模块,不仅可以直观地显示电路中各节点电压和支路电流的波形曲线,同时还具有对模拟结果进行再分析和再处理的功能。例如,电路进行性能分析,可得到电路基本特性(如电路增益)与电路中某些元器件参数取值的关系,从而可根据设计要求,确定器件参数的最佳取值,用直方图显示电路特性参数的具体分布。Probe 模块能够完成如曲线跟踪仪、示波器、网络分析仪、频谱分析仪、逻辑分析仪等仪器的分析功能。

#### (4) 丰富的元器件模型库和封装库及扩充功能

OrCAD/Capture 软件的元器件库文件中包括有 4 万多种常用的元器件符号,同时还包括有元器件的特性参数模型和封装信息。采用软件中提供的 Part Editor 模块,可以修改库文件中的图形符号或添加新的内容。还可以通过 Internet,从指定的数据库中查寻多达上百万个元器件的最新信息,将需要的元器件放入电路图或添加到库文件中。

元器件封装库中包含有 3 000 多个封装图形和 60 多个 PCB 轮廓,通过库管理器采用流水化管理,可对封装库进行编辑、修改和扩充,还可以将汉字当做元器件封装,在 PCB 板上添加汉字。

### (5) 强大的电路印制板设计功能

Layout Plus 模块同时支持手工布局/布线、自动布局/布线,可同时进行实时设计规则检查。可以智能化敷铜,能自动避开互连线、焊盘和过孔,不会形成没有连接的“孤岛”区或不希望的其他图形。

在 PCB 设计中,采用的层次可达 30 层,其中布线层最多为 16 层,电路板的最大尺寸为 68 in. × 68 in.,支持 8 000 多种不同的元器件符号,而一块 PCB 上可包括 8 000 个元器件、32 000 个互连、10 000 个网络节点;支持 1 000 种形状的焊盘、250 种类型的过孔及多达 3 200 根引线的元器件;互连线的布线分辨率为 1  $\mu\text{m}$ ,放置元器件时旋转角度可精确到 1'。

### (6) 具有与多种 EDA 和 CAD 应用软件交换数据的功能

包括 Cadence 公司的 Allegro、SPECCTRA 以及 Protel、PADS、PCAD、Cadstar 等软件,都具有导入向导,可以方便地将其他系统生成的电路原理图、印制板电路导入到 Layout 环境中;可导出多达 30 种格式,用于所有的通用可编程器件和印制板布局工具,包括 EDIF、VHDL、Verilog、PSpice、Allegro、PowerPCB 和 PCAD 等软件。Hyperlynx 接口可方便地进行高速电路板的分析和模拟,包括进行布线前后的信号完整性分析。

### (7) 功能强大的机械接口和计算机辅助加工(CAM)接口

具有机械 CAD 系统接口与 PRO/ENGINEER、SDRC、CATIA 和 Solid Edge 的数据双向交换;双向的 IDF 接口支持通过 PRO/ENGINEER 和 SDRC 机械 CAD 系统进行三维建模,允许双向交换机械数据、元器件布局等信息,生成三维轮廓图形;IPC-D-356 网络列表能力可以接口到后续的制作和测试设备上。可以生成供印制板加工的 Gerber 文件,还可以查看、编辑由其他 CAD 软件设计的印制板所对应的 Gerber 文件。

### (8) 软件的广泛适用性

为了保证软件的广泛适用性,软件中提供了对不同习惯或标准的支持。例如,元器件符号库中同时包括有习惯采用的符号图形,以及国际电工委员会(IEC)规定的标准符号图形;尺寸单位可以选用公制(mm)或英制(in.),相应图纸幅面等级也采用两种不同单位制的规定。

## 1.4 OrCAD/PSpice A/D 软件的有关规定

### 1.4.1 PSpice A/D 支持的元器件

PSpice A/D 可模拟下述 6 类最常用的元器件:

- ①基本无源元件。例如,电阻 R、电容 C、电感 L、互感 K、传输线 T 等。
- ②常用的半导体器件。例如,二极管 D、双极晶体管 Q、结型场效应管 J、MOS 场效应管 M、GaAs 场效应晶体管(GaAsFET) B、绝缘栅双极晶体管(IGBT) Z 等。
- ③独立电压源和独立电流源。用于直流(DC)、交流(AC)、瞬态(Tran)分析和逻辑模拟所需的各种激励信号波形。
- ④各种受控电压源、受控电流源和受控开关。
- ⑤基本数字电路单元。例如,TTL 电路、CMOS 集成电路、CPLD、RAM、ROM 等。
- ⑥常用的单元电路。例如,运算放大器、比较器等可作为一个单元电路整体出现在电路

中,而不必考虑该单元电路的内部结构。

PSpice A/D 为不同类别的元器件赋予不同的字母代号,见表 1.1。在电路图中,不同元器件编号的第一个字母必须按表中规定。

表 1.1 PSpice A/D 支持的元器件类别及其字母代号(按字母顺序)

字母代号	元器件类别	字母代号	元器件类别
B	GaAs 场效应晶体管	N	数字输入
C	电容	O	数字输出
D	二极管	Q	双极晶体管
E	受电压控制的电压源	R	电阻
F	受电流控制的电流源	S	电压控制开关
G	受电压控制的电流源	T	传输线
H	受电流控制的电压源	U	数字电路单元
I	独立电流源	U STIM	数字电路激励信号源
J	结型场效应晶体管(JFETR)	V	独立电压源
K	互感(磁芯),传输线耦合	W	电流控制开关
L	电感	X	单元子电路调用
M	MOS 场效应晶体管	Z	绝缘栅双极晶体管(IGBT)

#### 1.4.2 PSpice A/D 中的数字和单位

在 PSpice A/D 中,数字通常采用科学表示方式,即可以使用整数、小数和以 10 为底的指数。用指数表示时,字母 E 代表作为底数的 10。对于比较大或比较小的数字,还可以采用表 1.2 所示的 10 种比例因子。

表 1.2 PSpice A/D 中采用的比例因子

符号	比例因子	名称
f	$10^{-15}$	飞(femto-)
p	$10^{-12}$	皮(pico-)
n	$10^{-9}$	纳(nano-)
$\mu$	$10^{-6}$	微(micro-)
mil	$25.4 \times 10^{-6}$	密耳(mil)
m	$10^{-3}$	毫(milli-)
k	$10^3$	千(kilo-)
MEG	$10^6$	兆(mega-)
G	$10^9$	吉(giga-)
T	$10^{12}$	太(tera-)

例如,1.23k、1.23E3 和 1230 均表示同一个数。特别注意:以 M 开头的三个比例因子,若用单个字母 M(无论大、小写),代表  $10^3$ ;要表示  $10^6$ ,必须用 MEG 表示。

PSpice A/D 中采用的是实用工程单位制,即时间单位为秒(s),电流单位为安培(A),电压单位为伏特(V),频率单位为赫兹(Hz)等。在运行过程中,PSpice A/D 会根据具体对象,自动确定其单位。因此,在实际应用中,代表单位的字母可以省去。例如,表示 470 千欧姆的电阻时,用 470 k,4.7E5,470 kOhm 等均可。对于几个量的运算结果,PSpice A/D 也会自动确定其单位。例如,若出现电压与电流相乘的结果,PSpice A/D 将自动给运算结果确定的单位为功率单位“瓦特”(W)。注意:①在 OrCAD 软件中,少数物理量的单位表达与法定单位的规范表达不一致,例如: $\Omega$  表示为 Ohm 等;有的单位中采用的比例因子的表示也略有不同,例如: $\mu$ (微)表示为 u,M(兆)表示 MEG 等;一般情况下,单位可省略,由软件自动识别;②OrCAD 软件中绝大多数情况下不区分大小写。

### 1.4.3 PSpice A/D 中的运算表达式和函数

PSpice A/D 中的表达式由运算符、数字、参数和变量构成。可采用的运算符见表 1.3 所示。

表 1.3 PSpice A/D 中的运算符

种 类	运算符	含 义
算术运算符	+	加(或字符相连)
	-	减
	*	乘
	/	除
	**	指数运算
逻辑运算符	~	非(NOT)
		布尔“或”(OR)
	^	布尔“异或”(XOR)
	&	布尔“与”(AND)
关系符(在 IF()函数中)	==	等于
	!=	不等于
	>	大于
	>=	大于等于
	<	小于
	<=	小于等于

PSpice 具有内建函数,构成表达式时,可以引用表 1.4 所示的函数。

表 1.4 PSpice A/D 中的函数

函数	含义	说明
ABS(x)	$x$ 的绝对值 $ x $	
ACOS(x)	$x$ 的反余弦函数 $\arccos x$	$-1.0 \leq x \leq +1.0$
ARCTAN(x)	$x$ 的反正切函数 $\arctan x$	结果的单位为弧度
ASIN(x)	$x$ 的反正弦函数 $\arcsin x$	$-1.0 \leq x \leq +1.0$
ATAN(x)	与 ARCTAN(x) 相同	
ATAN2(y,x)	$(y/x)$ 的反正切函数 $\arctan \frac{y}{x}$	
COS(x)	余弦函数 $\cos(x)$	$x$ 的单位为弧度
COSH(x)	双曲余弦函数 $\cosh(x)$	$x$ 的单位为弧度
DDT(x)	$x$ 对时间的导数	仅适用于瞬态特性分析
EXP(x)	以 $e$ 为底的指数函数 $e^x$	
IF(t,x,y)	若 $t$ 为“真”, 其值为 $x$ 若 $t$ 为“假”, 其值为 $y$	
IMG(x)	$x$ 的虚部	若 $x$ 为实数, 则 $IMG(x)$ 为 0
LIMIT(x,min,max)	若 $x < \min$ , 结果为 $\min$ 若 $x > \max$ , 结果为 $\max$ 其他情况, 结果为 $x$	
LOG(x)	自然对数 $\ln x$	
LOG10(x)	常用对数 $\log x$	
M(x)	$x$ 的幅值	
MAX(x,y)	$x, y$ 中的最大值	
P(x)	$x$ 的相位	若 $x$ 为实数, 则 $P(x)$ 为 0
PWR(x,y)	$x$ 绝对值的 $y$ 次方 $ x ^y$	等同于 $ x^y $
PWRS(x,y)	若 $x > 0$ , 结果为 $+ x ^y$ 若 $x < 0$ , 结果为 $- x ^y$	
R(x)	$x$ 的实部	
SDT(x)	将 $x$ 对时间积分	仅适用于瞬态特性分析
SGN(x)	若 $x > 0$ , 结果为 $+1$ 若 $x < 0$ , 结果为 $-1$ 若 $x = 0$ , 结果为 $0$	正负号函数
SIN(x)	正弦函数 $\sin(x)$	$x$ 的单位为弧度



续表

函数	含义	说明
SINH(x)	双曲正弦函数 $\text{sh}(x)$	$x$ 的单位为弧度
STP(x)	若 $x > 0$ , 结果为 1 若 $x < 0$ , 结果为 0	
SQRT(x)	$x$ 的平方根	
TAN(x)	正切函数 $\tan(x)$	$x$ 的单位为弧度
TANH(x)	双曲正切函数 $\tanh(x)$	

**例 1.1** 对于函数  $\{ \text{IF}(v(1) < \text{THL}, v(1), v(1) * v(1) / \text{THL}) \}$ ,  
若  $v(1)$  小于  $\text{THL}$ , 则函数值为  $v(1)$ ; 若  $v(1)$  不小于  $\text{THL}$ , 则函数值为  $v(1) * v(1) / \text{THL}$ 。

**例 1.2** STP(x) 函数为单位阶跃函数, 可用于将某一时刻前一个变量的结果置为“0”。  
 $\{ v(1) * \text{STP}(10\text{ns} - \text{TIME}) \}$  的结果是, 在 10 ns 之前, 值为 0; 10 ns 以后, 结果等于  $v(1)$ 。

#### 1.4.4 电路图节点编号

在电路模拟分析过程中, 元器件的连接关系是通过节点号表示的, 指定输出结果电压时, 也要采用节点编号。PSPice 接受的节点号可以采用下面 4 种形式:

①由设计者设置的节点名称。例如, 图 1.2 中与 U2A 反相器 1 号输入端相连的互连线上, “RESET” 就是用这一方法确定的节点名称,  $V(\text{RESET})$  就代表该节点与地之间的电压。

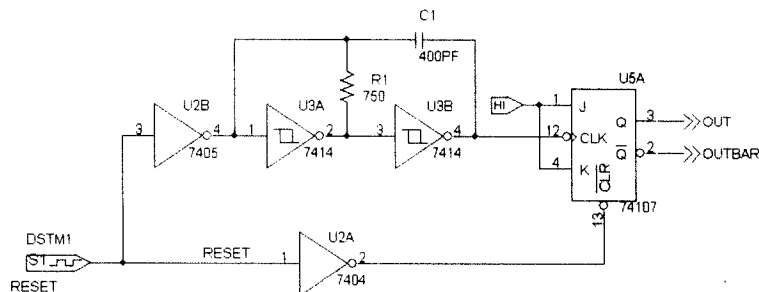


图 1.2 振荡电路原理图

②为电路端口符号确定的节点名称。如图 1.2 中与 U5A J-K 触发器输出端的“OUT”、“OUTBAR”, 也可作为节点名称,  $V(\text{OUT})$  代表节点 OUT 与地之间的电压。

③用元器件的引出端作为节点号名称。其一般形式为:

元器件编号:引出端

其中, 元器件编号是该元器件在电路图中的编号, 其第一个字母必须是代表该元器件类型的关键字符(见表 1.1), 如 R5、CLOAD、Q2 等。

对于二端元器件, 用 1 和 2 作为两个引出端名称。

对于独立电流源和电压源, 用“+”号和“-”号作为两个引出端名称。

对于多端器件, 双极晶体管的基极、集电极、发射极和衬底 4 个引出端分别采用 B、C、E 和 S。例如  $V(Q2 : C)$  代表电路图中编号为 Q2 的双极晶体管的集电极与地之间的电压。