

PSpice 专业电路设计系列

# PSpice

## 电路仿真程序设计

李永平 主编 储成伟 编著

国防工业出版社

h t t p : / / w w w . n d i p . c n

PSpice 专业电路设计系列

# PSpice 电路仿真程序设计

李永平 主编

· 储成伟 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书由 PSpice 的基本组成开始讲起,对软件中的特性分析、点命令、电源、无源元件、半导体器件、电路宏模型、模拟集成电路、分别作细致地讲述,书末又指出 PSpice 需要注意的问题和应用实例的软件操作。

全书由简入繁,适合从事电路分析与设计的科研人员、工科电子专业师生循序渐进学习阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

PSpice 电路仿真程序设计/储成伟编著. —北京:国防工业出版社,2006.7

(PSpice 专业电路设计系列/李永平主编)

ISBN 7-118-04547-0

I. P... II. 储... III. 电子电路—计算机仿真—程序设计—应用软件, PSpice IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 052067 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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 21 字数 483 千字

2006 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 30.00 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

从 20 世纪 50 年代晶体管电路逐步取代电子管电路以来, 半导体电路经历了小规模集成电路 (SSI)、中规模集成电路 (MSI)、大规模集成电路 (LSI)、超大规模集成电路 (VLSI) 和甚大规模集成电路 (ULSI) 4 个发展阶段, 使集成电路的功能越来越强, 集成度越来越高, 规模越来越大。要分析和设计复杂的电子系统, 人工分析、设计已不适用, 必须采用计算机辅助分析与设计, 即采用 CAA 与 CAD (Computer Aided Analysis and Design) 技术。正因为如此, CAA 与 CAD 已经成为分析和设计电子电路的关键技术之一, 各种软件也应运而生, Spice 和 PSpice 软件相继问世。

Spice (Simulation Program with Intergrated Circuit Emphasis, 侧重于集成电路的模拟程序) 是美国加利福尼亚大学伯克莱分校研制的模拟电路仿真标准软件, 从 20 世纪 70 年代初期问世以来已经有 20 多个版本。PSpice 是美国 Microsim 公司开发的众多 Spice 不同分支中的一种, 主要用于 PC 机上, 实现电子电路设计的模拟和仿真。

PSpice 可以进行模拟电路分析、数字电路分析和数模混合电路分析, 因此在设计制作实际电路前, 可以使用它模拟电路的性能, 调整器件参数, 分析电路的结构, 而且这种分析不受器件的数量、类型和损耗情况的限制, 不需要任何实际仪器。它还可以快速、方便、精确地评价电路设计的正确性, 获得电路的技术指标, 节省大量的时间和费用。同时, 它还能反映元器件的改变对电路所造成的影响, 分析一些较难测量的电路特性, 例如噪声、频谱分析、失真、器件和环境温度对电路的影响等, 从而大大提高电路的设计质量。可见 PSpice 软件相当于一个模拟的“实验台”, 可以代替大部分制板实验工作, 所以一般来说, PSpice 是进行实际电路工作前必要的仿真过程。但是要想利用它得到好的设计结果还必须具备使用此工具的熟练能力和丰富经验。

PSpice 有很多优点: 第一, PSpice 的元器件模型库提供了几千种常用器件, 包括电阻、电容、电感、晶体管和集成电路, 用户可以直接调用, 也可以自己建立模型, 或对库中已有的器件模型进行修改。第二, 利用 PSpice 的仿真功能, 可以对一些传统方法难以进行的实验进行仿真模拟, 比如电路的温度特性、容差、灵敏度、最坏情况分析等, 提高电路分析和设计的应用范围。第三, 利用 PSpice 的图表功能, 可以对电路进行仿真测试, 不仅能测试电路的静态工作点、放大倍数、输入输出阻抗参数, 还可以描绘模拟电路和数字电路中各测试点的波形, 观察器件或温度的变化对电路性能的影响, 比如饱和和失真、截止失真、放大倍数的上升与下降等因素对器件的影响。第四, PSpice 仿真系统中为用户提供了节点访问, 用户通过在电路中标上节点号, 然后就可以在仿真图中观测到各个节点以及各节点之间的情况。同时, 仿真结果图还向用户提供了加、减、乘、除等基本的数学运算, 提供了绝对值、均方差、正弦、余弦、对数、指数等基本函数运

算,这是其他软件所无法比拟的。第五,PSpice 实用性强,仿真效果好。因为如果用 Protel 等软件仿真时,仿真过程复杂,当改变某个参数,即使是电阻值或是电容值,都需要重新建立网络表的连接,而在 PSpice 中,改变参数的仿真是非常容易实现的。第六,PSpice 操作简单、易学,高版本采用 Windows 界面、菜单式结构,使用鼠标和键盘热键进行操作,工作效率更高。

美国的 OrCAD 公司是世界上知名度很高的 EDA 公司。1998 年 OrCAD 公司与开发 PSpice 软件的 Microsim 公司实现了强强联合,推出了新版本 OrCAD PSpice 9。OrCAD PSpice 9 不仅大大丰富和完善了模拟电路的分析功能,也进一步增强了数字电路、数 / 模混合电路的分析功能。OrCAD PSpice 9 的逻辑模拟功能有:第一,分析数字电路输出与输入之间的逻辑关系;第二,分析数字电路的延迟特性;第三,对同时包含有模拟器件和数字器件的电路进行数 / 模混合模拟,可以同时显示出电路内部的模拟信号和数字信号波形;第四检查数字电路中是否存在时序异常和冒险竞争现象;第五实现最坏情况逻辑模拟。目前,OrCAD 公司已经推出了 PSpice 最新版本 PSpice 9.2,其功能更加完善。

PSpice 仿真软件是省时、经济地从事科研工作的有力手段,它给电路设计者和软件使用者提供了极大的便利,具有极大的工程应用价值。本书采用实例讲解与具体论述相结合的方法介绍 PSpice,所选实例均来自工程实践中,读者通过对本书的学习,可以极大提高程序设计能力及工程应用能力。

另外,本书所有电路插图均采用 PSpice 软件绘制,其电子元器件图形符号与物理量符号采用的是软件规定的自带符号,与国家标准及工程应用习惯并不一致,请读者阅读时注意区别。部分常用元器件的国标对照表参见附录。

由于时间有限、且限于作者水平,不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第 1 章 PSpice 简介 .....  | 1  |
| 第 2 章 PSpice 概述 .....  | 4  |
| 2.1 PSpice 的基本组成 ..... | 4  |
| 2.2 应用实例 .....         | 5  |
| 2.3 电路文件的格式 .....      | 17 |
| 2.4 电路的描述语句 .....      | 18 |
| 2.4.1 节点 .....         | 18 |
| 2.4.2 电路元件 .....       | 18 |
| 2.4.3 元件值 .....        | 19 |
| 2.4.4 元件模型 .....       | 20 |
| 2.4.5 电源和信号源 .....     | 20 |
| 2.4.6 分析类型 .....       | 21 |
| 2.4.7 注释语句 .....       | 22 |
| 2.4.8 输出变量 .....       | 22 |
| 2.4.9 输出命令 .....       | 22 |
| 2.4.10 输出文件的格式 .....   | 23 |
| 第 3 章 特性分析 .....       | 27 |
| 3.1 直流扫描和瞬态分析 .....    | 27 |
| 3.1.1 电压输出 .....       | 28 |
| 3.1.2 电流输出 .....       | 28 |
| 3.2 交流分析 .....         | 29 |
| 3.2.1 电压输出 .....       | 30 |
| 3.2.2 电流输出 .....       | 30 |
| 3.3 噪声分析 .....         | 31 |
| 第 4 章 点命令 .....        | 32 |
| 4.1 概述 .....           | 32 |
| 4.2 模型 .....           | 33 |
| 4.2.1 模型描述语句 .....     | 33 |
| 4.2.2 子电路描述语句 .....    | 35 |
| 4.2.3 元器件库文件调用语句 ..... | 39 |

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| 4.2.4 文件包含语句 .....    | 40        |
| 4.2.5 电路结束语句 .....    | 41        |
| 4.3 输出类型 .....        | 41        |
| 4.3.1 打印 .....        | 41        |
| 4.3.2 绘图打印 .....      | 42        |
| 4.3.3 屏幕图形显示 .....    | 42        |
| 4.3.4 宽度设置 .....      | 44        |
| 4.4 直流分析 .....        | 44        |
| 4.4.1 工作点 .....       | 44        |
| 4.4.2 直流扫描分析 .....    | 47        |
| 4.4.3 小信号转移函数 .....   | 50        |
| 4.4.4 灵敏度分析 .....     | 53        |
| 4.4.5 节点设置 .....      | 57        |
| 4.5 交流小信号分析 .....     | 57        |
| 4.6 噪声分析 .....        | 62        |
| 4.7 瞬态响应分析 .....      | 72        |
| 4.7.1 瞬态分析 .....      | 72        |
| 4.7.2 初始瞬态条件 .....    | 75        |
| 4.8 温度分析 .....        | 79        |
| 4.9 选择项 .....         | 80        |
| 4.10 蒙特-卡罗分析 .....    | 83        |
| 4.10.1 参数意义 .....     | 83        |
| 4.10.2 指定容差 .....     | 84        |
| 4.10.3 容差的分布 .....    | 85        |
| 4.11 最坏情况分析 .....     | 86        |
| 4.12 傅里叶分析 .....      | 88        |
| 4.13 通用参数扫描分析 .....   | 93        |
| 4.14 参数及表达式定义语句 ..... | 95        |
| 4.15 函数定义语句 .....     | 96        |
| 4.16 节点电压设置语句 .....   | 97        |
| <b>第5章 电源</b> .....   | <b>99</b> |
| 5.1 信号源模型 .....       | 99        |
| 5.1.1 指数源 .....       | 99        |
| 5.1.2 脉冲源 .....       | 101       |
| 5.1.3 分段线性源 .....     | 102       |
| 5.1.4 正弦源 .....       | 102       |
| 5.1.5 单频调频源 .....     | 103       |
| 5.1.6 多项式源 .....      | 104       |
| 5.2 独立源 .....         | 105       |

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 5.2.1 独立电压源 .....                         | 105 |
| 5.2.2 独立电流源 .....                         | 106 |
| 5.3 受控源 .....                             | 107 |
| 5.3.1 电压控制的电压源 .....                      | 107 |
| 5.3.2 电压控制的电流源 .....                      | 108 |
| 5.3.3 电流控制的电流源 .....                      | 108 |
| 5.3.4 电流控制的电压源 .....                      | 109 |
| 5.3.5 非线性受控源的代数方程描述语句 .....               | 112 |
| 5.3.6 拉普拉斯变换的系统函数描述的非线性受控源 .....          | 113 |
| <b>第6章 无源元件</b> .....                     | 114 |
| 6.1 电阻 .....                              | 114 |
| 6.2 电容 .....                              | 115 |
| 6.3 电感 .....                              | 115 |
| 6.4 磁性元件 .....                            | 117 |
| 6.4.1 互感 .....                            | 117 |
| 6.4.2 磁心 .....                            | 119 |
| 6.5 开关 .....                              | 124 |
| 6.5.1 压控开关 .....                          | 125 |
| 6.5.2 流控开关 .....                          | 128 |
| 6.6 传输线 .....                             | 130 |
| <b>第7章 半导体器件</b> .....                    | 133 |
| 7.1 二极管 .....                             | 133 |
| 7.1.1 二极管的描述语句 .....                      | 133 |
| 7.1.2 模型参数和温度对二极管特性曲线的影响 .....            | 135 |
| 7.1.3 二极管的开关作用 .....                      | 138 |
| 7.1.4 二极管应用举例 .....                       | 141 |
| 7.2 双极结型晶体管 .....                         | 152 |
| 7.2.1 双极结型晶体管语句 .....                     | 152 |
| 7.2.2 基区宽度调制效应对晶体管特性曲线的影响 .....           | 154 |
| 7.2.3 单管共发射极放大电路 .....                    | 158 |
| 7.2.4 晶体管应用举例 .....                       | 165 |
| 7.3 场效应晶体管 .....                          | 181 |
| 7.3.1 MOS 型场效应管 .....                     | 182 |
| 7.3.2 结型场效应管 .....                        | 185 |
| 7.3.3 砷化镓场效应管 .....                       | 186 |
| 7.3.4 沟道长度调制效应及衬底调制效应对 MOS 管特性曲线的影响 ..... | 187 |
| 7.3.5 单管共源放大电路的工作原理 .....                 | 192 |
| 7.3.6 场效应管举例 .....                        | 197 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>第 8 章 电路宏模型</b>             | 213 |
| 8.1 宏模型概述                      | 213 |
| 8.2 表格宏模型                      | 213 |
| 8.3 数学函数宏模型                    | 215 |
| 8.3.1 多项式模型                    | 215 |
| 8.3.2 代数方程模型                   | 218 |
| 8.3.3 拉普拉斯变换模型                 | 218 |
| 8.4 构造型宏模型                     | 219 |
| 8.4.1 压控振荡器                    | 220 |
| 8.4.2 可控硅器件                    | 222 |
| 8.4.3 稳压二极管                    | 227 |
| 8.4.4 施密特触发器                   | 228 |
| 8.4.5 运算放大器                    | 230 |
| <b>第 9 章 模拟集成电路</b>            | 231 |
| 9.1 三种组态的基本放大电路                | 231 |
| 9.1.1 静态工作点对动态范围的影响            | 231 |
| 9.1.2 有源负载共发射极放大电路             | 242 |
| 9.2 MOS 模拟集成电路中的基本单元电路         | 247 |
| 9.2.1 单极 CMOS 放大电路             | 247 |
| 9.2.2 MOS 模拟开关                 | 252 |
| 9.3 差动放大电路                     | 258 |
| 9.3.1 理想对称差动放大电路               | 258 |
| 9.3.2 非理想对称差动放大电路              | 265 |
| 9.4 运算放大器                      | 271 |
| 9.4.1 直流线性模型                   | 272 |
| 9.4.2 交流线性模型                   | 272 |
| 9.4.3 非线性宏模型                   | 273 |
| 9.4.4 应用举例                     | 274 |
| 9.5 集成比较器                      | 278 |
| 9.5.1 比较器的宏模型                  | 278 |
| 9.5.2 简单比较器举例                  | 280 |
| <b>第 10 章 PSpice 应用中应注意的问题</b> | 285 |
| 10.1 收敛性                       | 285 |
| 10.2 精度分析                      | 288 |
| 10.3 负值元件问题                    | 288 |
| 10.4 功率开关电路                    | 289 |
| 10.5 悬空节点                      | 293 |
| 10.6 少于两个连接的节点                 | 296 |

|               |                                  |            |
|---------------|----------------------------------|------------|
| 10.7          | 电压源和有感回路 .....                   | 296        |
| 10.8          | 求解非线性振荡器稳态解的加速技术 .....           | 297        |
| 10.8.1        | 说明 .....                         | 297        |
| 10.8.2        | 加速技术 .....                       | 297        |
| 10.8.3        | 应用举例 .....                       | 299        |
| <b>第 11 章</b> | <b>PSpice9.2 操作介绍 .....</b>      | <b>300</b> |
| 11.1          | 安装 Orcad Family Release 9.2..... | 300        |
| 11.2          | PSpice AD 的操作说明 .....            | 301        |
| 11.2.1        | 将网单文件写入 PSpice AD 程序中 .....      | 301        |
| 11.2.2        | 程序的调试 .....                      | 304        |
| 11.2.3        | 调试结果的显示 .....                    | 306        |
| 11.3          | PSpice AD 的操作说明实例 .....          | 321        |
| 11.3.1        | 将网单文件写入 PSpice AD 程序中 .....      | 321        |
| 11.3.2        | 程序的调试 .....                      | 323        |
| 11.3.3        | 调试结果的显示 .....                    | 323        |

# 第 1 章

## PSpice 简介

在电路设计中,设计者总要对所设计的电路的性能进行预估、判定和校验,过去常用的是数学方法和物理方法。数学方法是用两个基尔霍夫定律和元件特性方程将设计的电路列方程,再求解;物理方法是按电路图在实验板上搭成模拟电路,并借助仪表测定电路的特性。这两种方法对设计规模较小的一般电路是可行的,但它有某些局限性和致命的缺陷,比如电路的规模必须简单,元器件类型必须单纯。否则,计算将繁到无法进行;计算的精度有限,实验的精度不高,特别是集成元器件,其集成电路的寄生效应、布线之间以及封装的分布电容、电感和耦合特性都无法模拟;数值计算时间长,实验时间长;不能进行极限状态和最坏情况分析;容差分析及优化设计很困难。

随着电子工业特别是大规模集成电路的迅速发展,电路品种日新月异,规模越来越大,对电路的可靠性、性能价格比的要求也越来越高,原来的那些方法已不能完全适应当前的要求。计算机和计算技术的发展使得利用计算机来进行电路特性分析成为可能。计算机辅助电路分析(CAA),又称计算机辅助电路模拟,就是利用计算机分析或模拟已设计好的电路的特性,使结果更符合实际情况。

Spice 是模拟电路仿真软件,由美国加州大学伯克莱分校的计算机辅助设计小组于 1972 年利用 FORTRAN 语言开发而成。Spice 主要用于大规模集成电路的计算机辅助设计,其正式实用版 Spice 2G 于 1975 年推出,但是该程序的运行环境至少为小型机。1985 年,加州大学伯克莱分校用 C 语言对 Spice 软件进行了改写。1988 年,Spice 被定为美国国家工业标准。同时,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,从而使 Spice 成为当时最流行的电子电路仿真软件。

PSpice 是美国 Microsim 公司在 Spice 2G 的基础升级并用于 PC 机上的 Spice 版本,使 Spice 软件不仅可以在大型机上运行,同时也可以微型机上运行。随后,PSpice 的版本越来越高。高版本的 PSpice 不仅可以分析模拟电路,而且还可以分析数字电路及数模混合电路。其模型库中的各类元器件、集成电路模型多达数千种,且精度很高。PSpice 的 Windows 版建立了良好的人机界面,以窗口及下拉菜单的方式进行人机交流,并在书写源程序的文本文件输入方式基础上,增加了输入电路原理图的图形文件输入方式,操作直观快捷,给使用者带来极大方便。目前,在众多的计算机辅助分析与设计软件中,PSpice 软件被国内外工程技术人员、专家、学者公认为是通用电路模拟程序中的优秀软件。

1998 年,著名的 EDA 商业软件开发商 OrCAD 公司与 Microsim 公司正式合并,从

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 Release 9.2。OrCAD PSpice 占全世界的电路仿真市场分额的 82% (数据来源 Dataquest, Dataquest 是世界上最权威的市場数据统计公司)。与传统的 Spice 软件相比, PSpice 高版本在三大方面实现了重大变革: 首先, 在对模拟电路进行直流、交流和瞬态等基本电路特性分析的基础上, 实现了蒙特-卡罗分析、最坏情况分析以及优化设计等较为复杂的电路特性分析; 其次, 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; 再次, 集成度大大提高, 电路图绘制完成后可直接进行电路仿真, 并且可以随时分析、观察仿真结果。

PSpice 的技术特点有:

- (1) 使用功能强大的 OrCAD Capture 或者 CAPTURE/CIS 输入用户的设计。
- (2) 可以方便地将 PSpice 原理图编辑器创建的 PSpice 设计导入到 OrCAD Capture—PSpice 环境中。
- (3) 在 OrCAD Capture CIS 中启动交互式图形化 PSpice 激励编辑器, 定义和预览激励特性。
- (4) 访问可用参数描述的内置功能, 或者用鼠标手工绘制分段性信号, 创建任意形状的激励。
- (5) 创建多个仿真剖面, 并保存到 Capture CIS 的项目管理器中, 用户可以再次调用, 并对同一电路进行不同的仿真。
- (6) PSpice A/D 自动识别 A 到 D 和 D 到 A 的连接, 并插入接口电路和电源, 进行恰当的处理。
- (7) 模拟和事件驱动数字仿真综合引擎提高了仿真的速度, 而不会降低精度。
- (8) 图示波形分析器在同一个时间轴上混合地显示模拟和数字仿真结果。
- (9) 可直接查看节点电压、管脚电流和单个器件的功率损耗或噪声分布。
- (10) 通过高级的参数、蒙特-卡罗和最坏情况分析显示元器件变化时电路行为的改变。
- (11) 创建绘图体模板, 使用它们可以很容易地完成复杂测量, 用户只需在原理图中期望的管脚、网络 and 器件上放置标志即可。
- (12) 可以绘出电路电压、电流和功率损耗及其复杂函数, 包括幅频相位波特图和小信号特性的微分。
- (13) 使用参数、蒙特-卡罗和最坏情况分析, 在多次运行中改变元件的数值, 可以快速地得到一簇波形结果。
- (14) 准确的内部模型, 包括常用的 R、L、C 和二极管及晶体管, 另外还有: 内置 IGBTs; 7 种 MOSFET 模型, 包括工业上标准的 BSIM3V3.1 和 EKV2.6 模型。5 种 GaAsFET 模型, 包括 Parker-Skellern 和 TriQuint TOM-2 模型。带饱和性磁滞的非线性磁性模型。合并了延迟、反射、损耗、消散和串扰的传输线模型。数字元件, 包括带有模拟 I/O 模型的双向传输门。
- (15) 器件公式开发工具包允许建立 PSpice 能够使用的新的内部模型公式。
- (16) 模型库可以选择产自北美、日本和欧洲的 16000 个模拟和混合器件的模型。同时可从 [www.PSpice.com](http://www.PSpice.com) 下载大部分器件及厂家提供的 Spice 模型(大约有 50 多万个模型

供下载)。

(17) 使用带有各种宏模型的复杂器件, 包括运算放大器、比较器、调节器、光耦、ADC、DAC 等。

(18) 直接从网上下载各个厂家提供的最新器件仿真模型。

(19) PSpice 模型编辑器, 可直观地指导用户快速实现提取过程, 器件的特性曲线给用户快速提供快速的图形反馈。

(20) 使用数字行为建模创建代表内部状态和管脚到管脚延迟的布尔表达式。

(21) 使用 PSpice 优化器自动调整电路, 可自动调节电路参数的数值, 改善模拟电路的性能, 或者将电路性能匹配到某一数据曲线, 并能将参数自动后向注释到 Capture 环境中。

(22) 从标准的测量函数中选择指标, 如带宽、超调、上升时间和中心频率, 或者使用性能分析向导创建自定义测量函数。

(23) 为有经验的器件物理工作者提供器件公式开发工具包 (DEDK), 用来开发任何器件模型。

虽然 PSpice 应用越来越广泛, 但是也存在着明显的缺点。由于 Spice 软件开始主要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, 而对于电力电子电路中所用的大功率器件所存在的高电压、大注入现象却不尽适用, 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, 将使大量的时间耗费在寻求合适的步长上面, 导致计算时间延长, 有时甚至不收敛。另外, 在磁性元件的模型方面, PSpice 也有待加强。但不管怎么说, PSpice 仍然是当前最流行的电路仿真软件。

## 第 2 章

## PSpice 概述

### 2.1 PSpice 的基本组成

PSpice 由 6 个基本程序模块组成:

#### 1. 电路原理图输入程序 Schematics

PSpice 的输入有电路原理图和网单文件两种形式。以电路原理图形式输入比较简单、直观。电路元器件符号库中有绘制电路原理图所需的元器件符号,除了电阻、电容、电感、晶体管、电源等基本的器件级符号外,还有运算放大器、比较器等宏模型级符号,以及数字电路的寄存器和各种门等单元符号<sup>①</sup>。用户从符号图形库中调出所需的电路元器件符号组成电路图,再由原理图编辑器自动将原理图转化为电路网单文件,标上节点号,提供给仿真工具进行仿真。如果用户熟悉仿真程序输入语言,也可以直接输入电路网单文件。

#### 2. 激励源编辑程序 Stimulus Editor

PSpice 中信号源种类较多,尤其是瞬态分析的信号源,有正弦源、脉冲源、指数源、分段线性源、单频调频源等。为方便用户设定这些信号源,激励源编辑程序帮助用户快速地建立输入信号源的波形。

#### 3. 电路仿真程序 PSpice A/D

电路仿真程序是 PSpice 的核心部分,它的仿真功能有直流工作点分析、直流转移特性分析、直流小信号传输函数计算、直流灵敏度分析、交流小信号分析、交流小信号噪声分析、瞬态分析、傅里叶分析、温度分析、最坏情况分析和蒙特-卡罗统计分析等。在 PSpice 4.1 版本以后,该仿真程序具有数字电路与模拟电路的混合仿真能力,为数模混合电路的仿真提供方便,但是它的优势还是在模拟电路方面。

#### 4. 输出结果绘图程序 Probe

Probe 程序是 PSpice 的输出图形后处理软件包,它接受仿真程序输出的绘图文件 (\*.DAT),然后在屏幕上绘出仿真结果的曲线、波形。

#### 5. 模型参数提取程序 Parts

电路仿真工具的分析精度、可靠性和实用性在很大程度上取决于电路元器件模型及

---

注①:软件是美国公司编制,其规则与国标并不一致,本书目的是为了介绍 PSpice 软件的使用与编程,因此正文部分均按软件规则来叙述,请读者注意,特此注明。

模型参数的精度,当前主要依靠模型参数库提供。由于模拟电路的元件种类繁多,但模型参数库规模有限,PSpice 中给出了一个从器件特性中直接提取模型参数的软件包 Parts。Parts 是一个优化提取的程序,根据用户给出的元器件特性或参数初值用曲线拟合等优化算法,得到参数的最优解,但是 Parts 参数提取程序只具备最基本的功能。

## 6. 元器件模型参数库 LIB

PSpice 提供的元器件参数库都以\*.LIB 的文件形式放在 LIB 目录中,供仿真程序调用。除了分立元件参数库以外,PSpice 还有集成电路的宏模型库,并提供了一些著名的器件和 IC 生产厂家的专有元器件参数库,比如二极管库 DIODE.LIB,双极型晶体管库 BIPOLAR.LIB,通用运算放大器库 LINEAE.LIB,公司专用 IC 宏模型库,以及数字电路 74 系列等器件模型参数库等。随着 PSpice 版本的更新,这个库还在不断扩大。

用 PSpice 进行电路分析与设计时,各程序模块之间的关系和设计流程如图 2-1 所示。

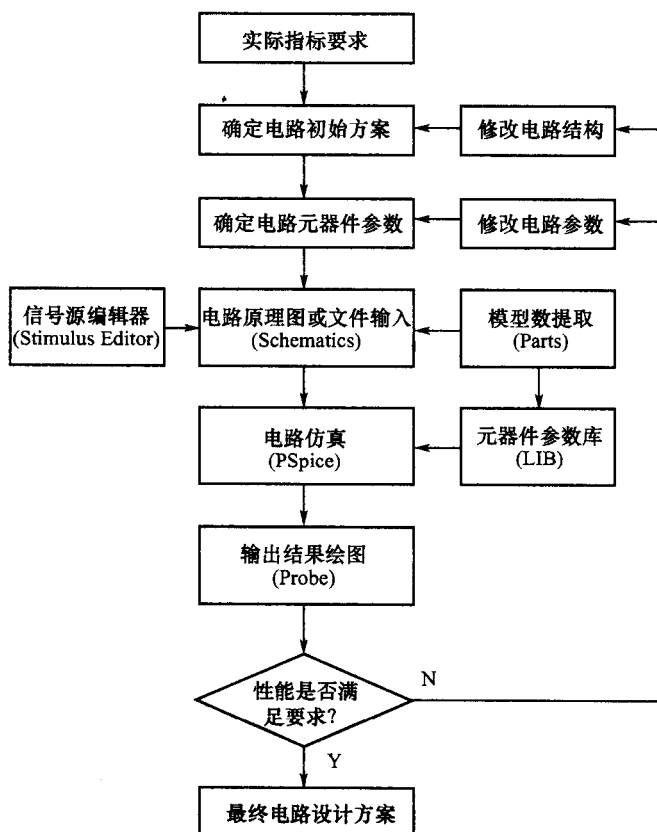


图 2-1 电路分析流程图

## 2.2 应用实例

为了使大家更加直观地了解电路模拟的过程,下面举两个例子,使大家初步了解

PSpice 程序设计语言和仿真输出结果。

例 2-1 已知简单差分电路如图 2-2 所示。电源电压，元件值均在图 2-2 中标明。Q1，Q2，Q3，Q4 是同型号 NPN 晶体三极管，其参数  $B_f=80$ ， $R_b=100$ ， $C_{cs}=2pF$ ， $T_f=0.3ns$ ， $T_r=6ns$ ， $C_{jf}=3pF$ ， $C_{jc}=2pF$ ， $V_{af}=50V$ 。将元器件的各端点作为节点，多个端点以线段连线时也只作为一个节点，对节点以正整数标注，接地点编号一律为 0。图中共标注了 9 个节点。

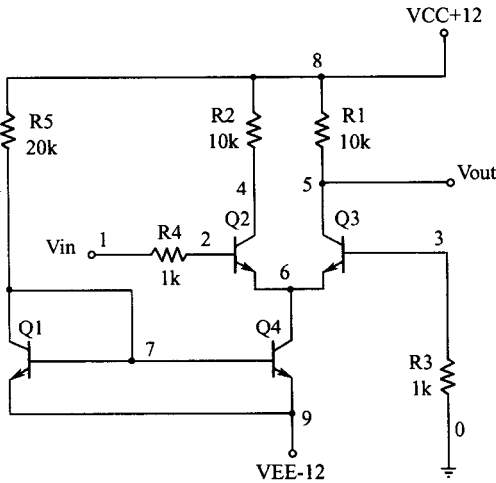


图 2-2 简单差分电路图

1. 要求

- (1) 打印并绘制直流扫描曲线，V(4)和 V(5)，Vin 电压范围从-0.15V 到 0.15V，步长 0.01V。
- (2) 计算低频小信号传输特性，V(5)/Vin。
- (3) 打印并绘制交流特性，5 号节点电压振幅和相位相对于输入电压在领域从 25kHz 到 25MHz 的特性。
- (4) 打印并绘制瞬态特性输出，求 V(5)/Vin 和 V(4)/Vin，其中 Vin 为正弦信号，其振幅为 0.1V，频率为 5MHz。要求打印的时间从 1ns 到 100ns，步长为 4ns，并给出曲线。
- (5) 打印所有节点的直流工作点。

2. 解

根据已知条件，首先按 PSpice 的输入语言描述该电路的构成，包括电路的连接方式，元件类型，器件模型等，输入网单文件如下所示。

行末的行号是为了说明而加的，使用时删去。

```
DIFFERENTIAL AMPLIFIER      (1)
* 电路描述                  (2)
VCC      8      0      12    (3)
VEE0     9      12          (4)
```

```

VIN 1 0 AC 1 SIN (0 0.1 5MEG) (5)
R1 5 8 10K (6)
R2 4 8 10K (7)
R3 3 0 1K (8)
R4 1 2 1K (9)
R5 7 8 20K (10)
Q1 7 7 9 MOD1 (11)
Q2 4 2 6 MOD1 (12)
Q3 5 3 6 MOD1 (13)
Q4 6 7 9 MOD1 (14)
.MODEL MOD1 NPN BF=80 RB=100 CJS=2P TF=0.3NS TR=6N CJE=3P (15)
+VAF=50 (16)
* 第一题分析及输出描述 (17)
.DC VIN -0.15 0.15 0.1 (18)
.PRINT DC V(4) V(5) (19)
.PLOT DC V(4) V(5) (20)
* 第二题分析及输出描述 (21)
.TF V(5) VIN (22)
* 第三题分析及输出描述 (23)
.AC DEC 10 25K 250MEG (24)
.PRINT AC VM(5) VP(5) (25)
.PLOT AC VM(5) VP(5) (26)
* 第四题分析及输出描述 (27)
.TRAN 4N 100N 1N (28)
.PRINT TRAN V(5) V(4) (29)
.PLOT TRAN V(5) V(4) (30)
* 第五题分析及输出描述 (31)
.OP (32)
.PROBE (33)
.END (34)

```

### 3. 注释

第1句是“标题”，由任意字符串构成作为打印的标题，但必须要有，否则就以描述电路语句为标题，则程序出错。

第2句是注释语句，注释语句前要加“\*”。

第3句是说明正极接在节点8，负极接地（参考点），直流电源电压值为12V。

第4句是正极接地，负极接节点9的直流电源，其值为12V，相当于一个-12V的直流电源。

第5句是在节点1和地之间加AC1，表示加幅度为1V的交流信号以进行交流分析，同时加一个正弦信号SIN(0 0.1 5MEG)，其直流偏置为零，振幅是0.1V，频率为5MHz，