

高文焕 编著
汪蕙

模拟电路 的 计算机分析与设计

PSpice 程序应用



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

模拟电路的计算机分析与设计 ——PSpice 程序应用

高文焕 汪 蕙 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书总结了作者多年的教学实践经验,将电子线路课程内容与电子线路的计算机辅助分析及设计紧密结合起来,以适应教学改革的需要。

全书共分为 10 章,内容是:绪论,PSpice 的主要分析功能介绍,电路元器件和模型,电路宏模型,半导体器件基础,模拟集成电路的基本单元电路,反馈放大电路,集成运算放大器及其应用电路,脉冲波形的产生与处理电路,正弦自激振荡电路。

本书从电子线路的计算机辅助分析与设计的基本概念出发,系统介绍了用 PSpice 软件分析与设计模拟电路的技术与方法,并对模拟电子线路的主要内容进行了系统、深入的分析计算和总结讨论,使读者不但能够更深入地学习和理解电子线路课程中各章节的内容,而且能初步掌握电路模拟的方法与技术,为正确使用和设计模拟集成电路,更快地进入电子设计自动化领域打下良好的基础。

本书可作为高等学校电子、通信、自动化类及其它相近专业本科生的教材,也可作为研究生和从事电路与系统设计的科技人员的技术参考书,或者作为电子线路 CAD 的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

JS112/02

模拟电路的计算机分析与设计: PSpice 程序应用/高文焕,汪惠编著. —北京:清华大学出版社,1998

ISBN 7-302-03158-4

I. 模… II. ①高… ②汪… III. ①模拟电路-计算机辅助电路分析-应用软件, PSpice②模拟电路-计算机辅助设计-应用软件, PSpice IV. TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 28860 号

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者: 密云印刷厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 26.75 字数: 632 千字

版 次: 1999 年 1 月第 1 版 1999 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-03158-4/TN·95

印 数: 0001~5000

定 价: 25.00 元

000000

前 言

随着大规模集成电路和电子计算机的迅速发展,电子电路的分析与设计方法发生了重大变革。以电子计算机辅助分析与设计(computer aided analysis and design,简称CAA与CAD)为基础的电子设计自动化技术已广泛应用于集成电路与系统的设计之中。它改变了以定量估算和电路实验为基础的传统设计方法,成为现代电子系统设计的关键技术之一,是必不可少的工具与手段。

电路的分析与设计首先需要有良好的软件。目前国内外流行最广的当属SPICE。它已发展成为一个家族,在大型计算机、工作站及微机上均有可运行的版本。它们具有功能强、速度快、精度高、容量大、使用方便、价格低廉等优点,受到人们的普遍欢迎。其中以MicroSim公司推出的基于美国加州大学伯克利分校SPICE的微机版本PSpice倍受青睐,具有广阔的应用前景,本书重点加以介绍。

本书的内容大体上可分为两部分。第一部分(第1章~第4章)系统介绍计算机辅助分析与设计工具,包括基本概念,PSpice的主要分析功能,电路元器件和模型,电路的宏模型,以及软件使用的方法和技术等;第二部分(第5章~第10章)运用上述工具,通过电路举例与习题系统、深入地分析计算模拟电子线路课程中各章节的主要典型电路(从半导体器件、基本单元电路、单片集成电路到各种应用电路),并由计算结果分析讨论电路(或器件)的工作原理、性能特点、技术指标、影响电路性能的主要参数以及电路设计等问题。这样就将电子线路课程内容与CAA及CAD技术紧密结合在一起,通过实例分析与设计,一方面使读者具有使用集成电路和电子系统计算机辅助分析与设计工具的能力,掌握现代电路设计技术与方法;另一方面更深入地学习和理解电子线路课程中各章节内容的原理、特点及应用,提高分析问题和解决问题的能力,扩展知识面,为今后从事集成电路和系统设计,进入电子设计自动化领域打下良好基础。这就是编写本书的主要目的,也是本书的一个突出特点。

需要说明,PSpice作为通用电路分析程序,对其输入输出文件、输入输出变量与图形曲线、分析与控制语句、元器件名称与参数等的格式有严格的语法规则,不能违反。有些规定与我们国家现行标准或行业习惯不一致。下面加以简单的说明:

1. 如电阻 R_1 、基极电流 I_B 、输入电压 V_I 、特征频率 f_T 、晶体管电流放大系数 β_F 和 β_R 等变量在PSpice文件中为了方便分别写成R1,IB,VI,FT,BF,BR,即采用下标与变量名称并排表示方法。本书在正文中采用前者,而在PSpice输入、输出文件或语句中采用后者。

2. 在PSpice中,字母U代表 1×10^6 ,而电压、电位均用字母V来表示,本书为了统一亦照此办理。

3. 在PSpice中,双极型晶体管(BJT)、MOS场效应管(MOSFET)、结型场效应管(JFET)、砷化镓场效应管(GaAs FET)分别用字母Q,M,J,B表示,而不是用一个字母T

表示,本书亦如此。

4. 在 PSpice 输出图形曲线中:

(1) 横、纵坐标轴无箭头和变量名称,变量单位直接标于刻度值旁(参见图 1.2.4)。

(2) 若输入、输出变量是电压或电流,它们的单位将直接标于刻度值旁。但若输入、输出变量是电阻或以 dB 数表示的增益、共模抑制比时,坐标轴旁只给出刻度值,不标出单位,此时电阻的单位为 Ω ,增益、共模抑制比的单位为 dB(参见图 2.4.3、图 6.2.8)。若在同一图中输出电压、电流(单位不同)等变量,处理办法与此相同,此时其单位分别为 V 和 A(参见图 3.2.16)。

(3) 在作直流扫描求传输特性时,图形横坐标下标出的是扫描变量的类型,不带序号。例如,若扫描变量是电阻 R_1 或电流 I_{S3} 等,则标出的扫描变量为 R, IS 等(参见图 6.2.7、图 6.3.3)。

(4) 在一般情况下,输出的图形曲线不加标注,尽量保持原样,电路或元器件的工作条件、参变量和阈值等均在文中说明。但为了便于理解或便于叙述,有时也增加了少量的人工标注(参见图 2.1.4、图 5.2.6)。

以上仅列举几例,敬请读者注意。

本书第 1 章~第 4 章及第 10 章由汪蕙编写,第 5 章~第 9 章由高文焕编写。在编写过程中,得到了清华大学电子工程系董在望教授的大力帮助和指导,还得到了清华大学电子工程系及线路与系统教研组的许多同志给予的热情支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免会有不妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

1998 年 9 月

于北京清华园

本书常用符号

1. 电压和电流符号规定

以晶体管基极电流为例：

I_B 大写字母、大写下标，表示基极直流电流

I_b 大写字母、小写下标，表示基极电流交流分量的有效值

i_B 小写字母、大写下标，表示基极电流含有直流的总瞬时值

i_b 小写字母、小写下标，表示基极电流的交流瞬时值

I_{bm} 基极电流交流分量的最大值

$\dot{I}_b$ 正弦基极电流的复数量

ΔI_B 基极直流电流的变化量

Δi_B 基极总瞬时电流的变化量

2. 常用的基本符号

(1) 电压

V, v 电压通用符号

V_s 信号源电压

v_I, v_i 输入信号电压

v_O, v_o 输出信号电压

V_{CC}, V_{DD} 正电源电压

V_{EE}, V_{SS} 负电源电压

V_{BB}, V_{GG} 基极、栅极偏置电压

V_{REF} 基准电压(参考电压)

v_{Id}, v_{id} 差模输入电压

v_{IC}, v_{ic} 共模输入电压

v_{OD}, v_{od} 差模输出电压

v_{OC}, v_{oc} 共模输出电压

V_{ICM} 最大共模输入电压

V_F, v_f 反馈电压

v_P, v_N 集成运放同相、反相端的输入电压

V_{OH}, V_{OL} 输出高、低电平

V_{IH}, V_{IL} 输入高、低电平

V_{on}, V_{off} 开门电平、关门电平

V_{NH}, V_{NL} 高、低电平噪声容限电压

(2) 电流

I, i 电流通用符号

i_s 信号源电流

i_i, i_i 输入电流

i_o, i_o 输出电流

I_L, i_L 负载电流

i_F, i_f 反馈电流

(3) 电阻、电容、电感及阻抗

R, r 电阻通用符号

R 静态电阻或直流电阻

r 动态电阻或交流电阻

g 电导通用符号

R_i, R_o 输入、输出电阻

R_{if}, R_{of} 反馈放大电路的输入电阻、输出电阻

R_s 信号源内阻

R_L 负载电阻

R_F, R_f 反馈电阻

R_P, R_N 集成运放同相、反相端外接的等效直流电阻

C 电容通用符号

C_C 相位补偿电容

C_L 负载电容

C_M 密勒电容

L 电感通用符号

Z 阻抗通用符号

(4) 增益(放大倍数)

A 增益通用符号,其下标不同意义也不同

A_v, A_i 电压、电流增益

A_r, A_g 互阻、互导增益

A_s 源增益

A_f 反馈放大电路的增益

A_{vD}, A_{vC} 差模、共模增益

A_M, A_0 中频、低频增益

A_{v0}, A_{vH} 低频、高频电压增益

F 反馈系数通用符号

F_v, F_i 电压、电流反馈系数

F_r, F_g 互阻、互导反馈系数

(5) 频率

f, ω 频率、角频率通用符号

f_H, f_L	放大电路的上限、下限截止频率
f_{HF}, f_{LF}	反馈放大电路的上限、下限截止频率
BW	通频带
BW_G	单位增益带宽
f_c	(环路)增益为 0dB 时的频率
f_0	振荡频率、中心频率
f_{CMR}	共模抑制比的上限截止频率

3. 器件参数符号

D, D_Z	二极管、稳压二极管
Q	双极型晶体管
M	MOS 场效应管
J	结型场效应管
B	砷化镓场效应管
V_D, V_Z	二极管压降、稳压二极管稳定电压
V_T	温度的电压当量
V_{th}	二极管、晶体管、门电路、比较器等的阈值电压
$V_{GS(th)}, V_{GS(off)}$	场效应管的阈值电压(开启电压)、截止电压(夹断电压)
V_A	厄尔利电压
λ	基区宽度调制系数、沟道长度调制系数
$V_{CE(sat)}$	晶体管 C, E 间的饱和压降
V_{IO}	输入失调电压
I_S	二极管、晶体管的(反向)饱和电流
I_{CEO}	晶体管基极开路时 C, E 间的穿透电流
I_{IO}	输入失调电流
f_β	晶体管共发射极电流放大系数 β 的截止频率
f_α	晶体管共基极电流放大系数 α 的截止频率
f_T	晶体管特征频率
$R_{BB'}$	基区体电阻
$R_{CC'}$	集电区体电阻
r_D	二极管的动态电阻
r_e	发射结的动态电阻
$r_{b'e}$	混合 π 形等效电路中发射结的微变等效电阻
r_{be}, r_{eb}	晶体管共射、共基接法的输入电阻
r_{ce}	晶体管共射接法的输出电阻
r_{ds}	场效应管共源接法的输出电阻
g_m	跨导
$C_{b'c}, C_{b'e}$	混合 π 形等效电路中集电结、发射结的等效电容

α, α_F	晶体管共基(正向)电流放大系数
β, β_F	晶体管共射(正向)电流放大系数
N	电子型半导体;运放的反相输入端
P	空穴型半导体;运放的同相输入端
W, L	沟道宽度、长度
k_P	MOS 管的导电因子
S_R	转换速率(摆率)

4. 其它符号

D	反馈深度;非线性失真系数;占空比
K_{CMR}	共模抑制比
T	温度;周期
t	时间
t_r, t_f	上升时间、下降时间
t_d, t_s	延迟时间、存储时间
t_w	脉冲宽度
t_{pd}	平均传输延迟时间
t_{on}, t_{off}	开通时间、关断时间
t_{pHL}, t_{pLH}	导通、关闭延迟时间
G_m, φ_m	幅度裕度、相位裕度
φ	相位角
Q	静态工作点;电荷;品质因数
τ	时间常数
S	面积
ξ	衰减因子

5. PSpice 中的符号

PSpice 采用专用符号来描述分析控制功能、电路结构及元器件参数(包括模型参数)等,其字符种类繁多,专用性强,这里不便一一列出,请参阅本书第 2 章~第 4 章有关章节。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电路设计与电路 CAD 工具	1
1.2 电路仿真工具 PSpice 的基本组成	2
1.3 PSpice 输入输出方式概述	7
1.3.1 电路的输入语句和格式.....	7
1.3.2 PSpice 的输出语句和输出变量	11
第 2 章 PSpice 电路分析功能介绍	14
2.1 真流工作点和直流扫描分析(.OP 和 .DC)	15
2.1.1 直流工作点分析	15
2.1.2 直流扫描分析	18
2.2 直流传输函数和输入输出电阻计算(.TF)	20
2.3 灵敏度分析(.SENS)	22
2.4 交流小信号分析(.AC)	24
2.4.1 频率扫描的类型	24
2.4.2 交流小信号分析的主要功能	25
2.4.3 交流小信号分析的输出变量	27
2.5 瞬态分析(.TRAN)	30
2.6 傅里叶分析(.FOUR)	32
2.7 通用参数扫描分析(.STEP)	35
2.8 蒙特卡罗分析(.MC)	37
2.8.1 分析运行与输出	37
2.8.2 元器件参数的容差设置	38
2.9 最坏情况分析(.WCASE)	40
2.10 温度分析(.TEMP)	42
2.11 噪声分析(.NOISE)	43
2.12 其他常用的控制命令	45
第 3 章 PSpice 的元器件和模型	51
3.1 模型、子电路和库文件调用语句	51
3.1.1 模型描述语句	51
3.1.2 子电路描述语句	53
3.1.3 元器件库文件调用语句	56

3.2	常用无源元件	58
3.2.1	电阻	58
3.2.2	电容和电感	59
3.2.3	互感和磁芯	60
3.2.4	传输线	65
3.2.5	控制开关	66
3.3	电源	69
3.3.1	独立源	69
3.3.2	线性受控源	73
3.3.3	非线性受控源	76
3.4	半导体器件	79
3.4.1	二极管	79
3.4.2	双极型晶体管	81
3.4.3	MOS 场效应晶体管	86
3.4.4	结型场效应晶体管	89
3.4.5	砷化镓场效应晶体管(GaAs FET)	91
第4章	电路宏模型	95
4.1	数学函数宏模型	95
4.1.1	多项式模型	95
4.1.2	代数方程宏模型	99
4.1.3	拉氏变换模型	99
4.2	表格宏模型	101
4.2.1	一般表格宏模型	101
4.2.2	频率响应表格宏模型	102
4.3	构造型宏模型	104
4.3.1	稳压二极管	104
4.3.2	施密特触发器	105
4.3.3	压控振荡器	107
4.3.4	运算放大器	109
4.3.5	可控硅器件	110
第5章	半导体器件基础	115
5.1	半导体二极管	115
5.1.1	模型参数及温度对二极管特性曲线的影响	115
5.1.2	半导体二极管的开关作用	117
	习题	119
5.2	双极型晶体管	122

• VII •

0700122

5.2.1	基区宽度调制效应对晶体管特性曲线的影响	122
5.2.2	单管共射放大电路的工作原理	125
	习题	129
5.3	场效应晶体管	132
5.3.1	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	132
5.3.2	单管共源放大电路的工作原理	135
	习题	140
第 6 章	模拟集成电路的基本单元电路	143
6.1	三种组态基本放大电路	143
6.1.1	静态工作点对动态范围的影响	143
6.1.2	放大电路的频率响应特性	146
6.1.3	有源负载共发射极放大电路	150
	习题	154
6.2	差动放大电路	158
6.2.1	理想对称差动放大电路的基本特性	158
6.2.2	非理想对称差动放大电路的基本特性	162
	习题	165
6.3	输出级电路	169
	习题	175
6.4	多级放大电路及组合放大单元	179
6.4.1	共射-共基组合放大单元	179
6.4.2	多级差动放大电路	184
	习题	189
6.5	MOS 模拟集成电路中的基本单元电路	194
6.5.1	单级 CMOS 放大电路	194
6.5.2	CMOS 差动放大电路	198
6.5.3	MOS 模拟开关	201
	习题	204
第 7 章	反馈放大电路	211
7.1	负反馈放大电路的分析计算方法	211
7.1.1	电压串联负反馈放大电路的分析计算	212
7.1.2	电流并联负反馈放大电路的分析计算	218
	习题	223
7.2	负反馈放大电路的稳定性及相位补偿	228
7.2.1	负反馈放大电路的稳定性问题	228

7.2.2 负反馈放大电路的相位补偿	235
习题	238
第8章 集成运算放大器及其基本应用电路	241
8.1 集成运算放大器	241
8.1.1 通用双极型运放 F007	241
8.1.2 CMOS 单片集成运放 5G14573	248
习题	252
8.2 集成运算放大器的模拟信号运算与处理电路	259
8.2.1 集成运放的模型	259
8.2.2 集成运放的模拟信号运算与处理电路	262
习题	271
8.3 电压比较器	277
8.3.1 简单电压比较器	279
8.3.2 滞回电压比较器	281
8.3.3 窗口比较器	284
习题	288
第9章 脉冲波形的产生与处理电路	293
9.1 半导体器件的开关特性和逻辑门电路	293
9.1.1 BJT 的开关特性	293
9.1.2 TTL 与非门	297
9.1.3 CMOS 非门	303
习题	306
9.2 单稳态触发器	311
9.2.1 由 TTL 与非门组成的单稳态触发器	311
9.2.2 由集成运放组成的单稳态触发器	314
习题	319
9.3 多谐振荡器	322
9.3.1 由 TTL 与非门组成的多谐振荡器	323
9.3.2 由集成运放组成的多谐振荡器	326
习题	329
9.4 555 定时器及其主要应用	333
9.4.1 555 定时器的特性与功能	333
9.4.2 由 555 定时器组成的单稳态触发器	339
9.4.3 由 555 定时器组成的多谐振荡器	342
习题	344

第 10 章 正弦振荡电路	347
10.1 <i>LC</i> 振荡器	347
10.1.1 电容反馈三点式振荡器	347
10.1.2 电容串联改进型三点式振荡器	351
习题	354
10.2 <i>RC</i> 振荡器	356
习题	359
10.3 石英晶体振荡器	360
10.3.1 并联晶体振荡电路	360
10.3.2 串联晶体振荡电路	363
习题	365
10.4 负阻振荡器	367
参考文献	372
附录 PSpice 使用手册	373

第1章 绪 论

1.1 电路设计与电路 CAD 工具

随着集成电路与计算机的迅速发展,以电子计算机辅助设计(computer aided design, 即 CAD)为基础的电子设计自动化(electronic design automation, 即 EDA)技术已渗透到电子系统和专用集成电路设计的各个环节。一个能完成较为复杂的超大规模集成电路(VLSI)设计的 EDA 系统一般应包括 10~20 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,它们可以完成自顶向下的 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 工具发展很快,现场可编程逻辑器件(FPGA,CPLD 等)的开发工具在实验室里就可以设计出专用集成电路,以硬件描述语言(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。目前,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。因此,本书系统地介绍电路仿真工具的应用,使电路设计工作者尽快掌握并应用到电路的设计中去。

模拟集成电路的仿真工具,是众多 EDA 工具中的一个重要的组成部分。由于模拟电路在性能上的复杂性和电路结构上的多样性,对仿真工具的精度、可靠性、收敛性以及速度等都有相当高的要求。国际上公认的模拟电路通用仿真工具是美国加利福尼亚大学伯克利(Berkeley)分校开发的 SPICE 程序,目前享有盛誉的 EDA 公司的模拟电路仿真工具,都是以 SPICE 为基础实现的。其中以美国原 Meta Software 公司的 HSPICE 和 MicroSim 公司的 PSpice 最为流行。PSpice 程序由于收敛性好,适于做系统及电路级仿真,又有微机版本,在国内外的用户十分广泛。

模拟电路仿真工具是以电路理论、数值计算方法和计算机技术为基础实现的。它采用数学模型和仿真算法,利用计算机的计算、存储和图形处理的高速和高效率,以电路理论为依据,无需任何实际元器件,用预先设计出的各种功能的应用程序,取代大量的仪器仪表。电路设计工作者可以通过这些应用程序对电路进行各种分析、计算和校验。一个电路 CAD 工具就相当于一个现代化的电子线路实验室,可以对电子系统及 VLSI 的整个设计过程进行逼真的模拟。它为电路设计者提供了一个创造性的工作环境,不仅能使设计者的设计达到高质量、高可靠性,而且降低了成本,缩短了开发周期,同时它使设计者有更多的时间和机会更充分地发挥其聪明才智,使设计精益求精。

电路 CAD 技术和工具的优点可归纳如下:

(1) 设计效率高,设计周期短

由于计算机的高效率,CAD 工具能在短时间内完成传统设计方法需要很长时期才能

完成的反复设计过程。传统方法的样机试制和小批量投产过程,在电路 CAD 中可由容差分析和优化设计实现。不但能设计电路的性能,而且能事先预估它的生产合格率。这样就大大提高了设计的效率,缩短了设计周期。

(2) 提高了设计质量

电路 CAD 工具采用更为精确和更接近实际的电路模型和元器件模型,并备有通用元器件的模型参数库。除了常规的模拟外,还可以模拟各种寄生参数的影响,模拟元器件参数变化对电路性能的影响。而且可以避免传统设计方法中因仪器仪表接入而引起的各种插入误差。另外,利用 CAD 工具可以方便地进行多种设计方案的比较和优选,从而选择最佳的设计方案。

(3) 降低设计成本

电路 CAD 工具节省了大量的实验样机试制以及批量试投产等设计过程,同时大大地节约了原材料、仪器设备和人力。电路 CAD 工具还能对设计结果进行电规则和设计规则检验、可测性分析、故障模拟以及过压、过载报警等极限条件检验。这就减少了设计错误的发生和返工所造成的浪费,降低了成本,提高了产品的经济效益。

(4) 充分发挥了设计人员的创造性

采用电路 CAD 工具后,设计人员面对的不再是各种仪表、元器件,甚至不再是纸和笔,而是计算机的屏幕。设计者惯用的仪器,如示波器、频谱仪、网络分析仪、扫频仪和通用测量仪器等等都可以用 CAD 工具来仿真实现。设计人员面对屏幕上每个窗口都有一组选单,如同真实仪表上的一套旋钮一样,设计者在屏幕上改变选单就相当于调整仪器旋钮。高分辨率图像功能和多窗口系统,可以使设计人员同时控制几个窗口,例如在第一个窗口中绘制电原理图,在第二个窗口中仿真此电路的功能,在第三个窗口中观察它的仿真输出波形,甚至可以在第四个窗口中进行 PCB 版图设计等等。这样设计人员能从繁琐的计算、查表、绘曲线等事务工作中解放出来,以更多的精力从事创造性的设计工作。

由于本书篇幅所限,我们不以系统介绍电路 CAD 工具 PSpice 程序的原理、算法等内容为主,而将重点放在介绍如何应用 PSpice 去分析和设计电路,将电子线路课程内容与 PSpice 应用紧密地联系在一起,通过大量电路实例的分析与计算,一方面让读者掌握用 PSpice 分析电路的基本方法和技巧,另一方面通过 PSpice 的仿真使读者更深入地学习和理解电子线路课程中各章节的原理与内容,并学会调整和设计电路的基本思路和方法。

我们希望本书成为电子线路课程与电路 CAD 工具的一个桥梁,引导读者一步步地进入电子设计自动化的自由王国。

1.2 电路仿真工具 PSpice 的基本组成

用于模拟集成电路仿真的 SPICE 程序,是由美国加州伯克利分校于 1972 年首次推出,它是用 FORTRAN 语言编写的,1975 年推出正式实用化版本。从问世以来,版本不断更新,其中以 1981 年的 SPICE2G.5 版本最为流行,是 20 世纪 80 年代国际上应用最广泛的电路设计工具。1985 年,伯克利分校将 SPICE 重新用 C 语言改写,称为 SPICE3,它在数据结构和执行效率上都有很大改善。1988 年 SPICE 被定为美国国家工业标准。各种以

SPICE 为核心的商用电路仿真工具,在 SPICE 的基础上做了许多实用化工作。MicroSim 公司的 PSpice 是众多 SPICE 家族成员中十分出色的一个,它在保持了 SPICE 原有功能的基础上,在输入输出图形处理、算法的可靠性和收敛性、仿真速度、模拟功能扩展以及模型参数库和宏模型库等方面都有所改善和扩充。

PSpice 程序在 3.00 以后的版本均是用 C 语言改写的,5.00 以上版本是在 Windows 环境下,并且是一个模拟电路和数字电路的混合仿真软件。

PSpice 由如下 6 个基本程序模块组成:

(1) 电原理图输入程序 Schematics

PSpice 的输入基本上是以电路原理图和网单文件两种形式。以电原理图形式输入比较简单、直观。电路元器件符号库中备有绘电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,还有运放、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。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,由原理图编辑器自动将原理图转化为电路网单文件,并标上节点号,提供给仿真工具进行仿真。如果用户熟悉仿真程序的输入语言,又没有将原理图存档的需求,也可以直接输入电路网单文件。

为了适应大规模集成电路高层次仿真和综合的需求,在 EDA 工具中 VHDL 硬件描述语言的输入方式已成为数字系统的主要描述方式,模拟电路的硬件描述语言 VHDL—AMS 也即将成为工业标准。

(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、单频调频源等等。为了方便用户设定这些信号源,PSpice 用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。它的仿真功能包括: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、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、直流灵敏度分析、温度分析、最坏情况分析和蒙特卡罗统计分析等等。在 PSpice4.1 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了方便,但 PSpice 的优势还是在模拟电路方面。

电路仿真程序接收电原理图输入程序的电路拓扑和元器件参数信息,经过元器件模型处理形成电路方程,求电路方程的数值解,最后给出计算结果。程序的构成和流程如图 1.2.1 所示。仿真结果一般由图形文件(*.DAT)和数据文件(*.OUT)两部分组成。

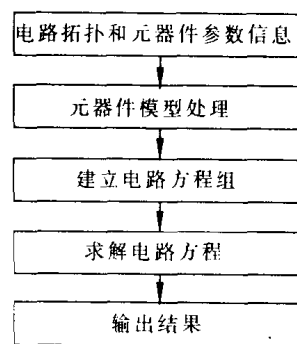


图 1.2.1 电路仿真程序流程

(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),在屏幕上绘出仿真结果的曲线、波形,还可以硬拷贝到打印外设上。随着计算