

电子电路

CAD

软件使用指南

王辅春 主编

机械工业出版社



3170P
VV18

电子电路 CAD 软件使用指南

王辅春 主编
王辅春 张秀屏 侯彦利 编著
刘明山 张玉春 张 鸣



机械工业出版社

JS206/14

本书是由吉林工业大学从事电子电路 CAD 教学、科研工作多年的教师编写的。书中介绍了国际上著名的电路模拟软件 PSPICE、逻辑模拟软件 OrCAD/VST、电路图和印制电路板图的绘制软件 OrCAD/SDT 和 PCB 以及电路设计专家系统开发工具 EC-TOOL 的使用方法。这些软件既可单独使用,又有互联的接口,构成了一套完整的使用方便的微机用电子电路 CAD 软件系统。该书内容新颖、例题多样、通俗易懂、便于自学。

本书适合广大电类工程技术人员阅读,也可作为工科电类专业大学、中专师生的教学参考书和电子电路 CAD 技术培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子电路 CAD 软件使用指南/王辅春主编.-北京:机械工业出版社,1998.2

ISBN 7-111-05914-X

I. 电… II. 王 III. 电子电路-计算机辅助设计 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 19244 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)

责任编辑:高金生 王冠宇 版式设计:霍永明

封面设计:赵京京 责任校对:孙志筠

责任印制:卢子祥

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998年2月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·21.25印张·515千字

0 001—3 000册

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

随着计算机技术的飞速发展和大规模集成电路的广泛应用，计算机辅助设计（Computer Aided Design，简称 CAD）技术，已经成为电子电路分析设计中不可缺少的工具。为了适应这种形势的需要，我们参考电子工业部 CAD 技术培训系列教材编审委员会拟定的《电子电路 CAD 技术》教学大纲和国内外有关文献，结合我们多年从事教学科研的实践，编写了本书。

本书介绍了一套在微机上运行的电子电路 CAD 软件的使用方法，并附有各种例题。其中包括电路模拟软件 PSPICE、逻辑模拟软件 OrCAD/VST、电路原理图和印制电路板版图的绘制软件 OrCAD/SDT 与 PCB 和电路设计专家系统开发工具 EC-TOOL。这些软件既可单独使用，又有互联接口；既可单机操作，也可联网运行，构成了一套完整的使用方便的微机用电子电路 CAD 软件系统。

本书通俗易懂、便于自学。可用作工厂、研究所和大专院校电子电路 CAD 使用手册和参考教材。

本书由王辅春主编，并编写第一篇，侯彦利、张鸣编写第二篇，刘明山编写第三篇，张玉春编著第四篇，全书由张秀屏统稿。

由于编者水平有限，书中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

1997.7

目 录

前 言

第 1 篇 电路模拟软件 ——PSPICE 使用指南

第 1 章 分析功能及分析控制卡	2	3.5 开关	13
1 直流分析	2	4 有源元件卡 (1)	14
1.1 .DC——直流分析卡	2	4.1 独立源	14
1.2 .OP——工作点卡	2	4.2 正弦源	15
1.3 .TF——转移 (传输) 函数卡	2	4.3 脉冲源	15
1.4 产生直流传输曲线	3	4.4 分段线性源	16
1.5 .SENS——确定直流小信号 灵敏度卡	3	4.5 指数源	16
4.6 单频频率调制源	3	4.6 单频频率调制源	17
2 交流小信号分析	4	5 有源元件卡 (2)	17
2.1 .AC——交流分析卡	4	5.1 受控源	17
2.2 .NOISE——噪声分析卡	4	5.2 线性受控源	17
2.3 交流输出变量及其表示方式	5	5.3 非线性受控源	18
3 瞬态分析	5	6 数字器件和模型	19
3.1 .TRAN——瞬态分析卡的 一般形式	6	6.1 描述格式	19
3.2 .FOUR——傅里叶分析卡	6	6.2 数字器件的分类描述格式	22
4 不同温度时的电路分析	7	6.3 多位 A/D 和 D/A 转换器	25
5 容差分析	7	6.4 触发器	27
5.1 .MC——蒙特卡洛分析卡	7	6.5 其它数字元器件	30
5.2 .WCASE——灵敏度/最坏 情况分析卡	8	第 3 章 半导体器件及模型卡	36
第 2 章 电路的描述及元件卡	10	1 D——半导体二极管	36
1 标题卡、结束卡和注释卡	10	1.1 结型二极管模型	36
1.1 标题卡	10	1.2 描述格式	36
1.2 结束卡	10	2 Q——双极性结晶体管	37
1.3 注释卡	10	2.1 双极性结晶体管模型	37
2 电路描述	10	2.2 描述格式	39
3 无源元件卡	11	3 J——结型场效应晶体管 (JFET)	39
3.1 电阻	11	3.1 JFET 模型	39
3.2 电容和电感	12	3.2 描述格式	40
3.3 耦合电感	13	4 M——MOS 场效应晶体管 (MOSFET)	41
3.4 无损耗传输线	13	4.1 MOSFET 模型	41

4.2 描述格式	43	3 Analysis 分析菜单的运行	114
5 B——砷化镓(GaAs)场效应晶体管 (GASFET)	43	4 Probe 后处理菜单的运行	116
5.1 GaAs MESFET	43	4.1 Probe.exe 的调用	116
5.2 描述格式	44	4.2 Probe 的主画面	116
第4章 控制卡	45	5 Circuit 菜单的运行	121
1 参数分析. 步进卡	45	5.1 Devices 命令——显示元器件 参数菜单	121
1.1 .STEP——参数步进卡	45	5.2 Models 命令——修改.Model 下的 模型参数	122
1.2 .PARAM——参数定义和 设置卡	45	5.3 Parameters 命令——显示、修改 文件的变量清单	122
2 .FUNC——函数定义卡	46	5.4 Errors 命令——显示 出错信息	122
3 .MODEL——器件模型卡和 .LIB——模型库卡	46	6 StmEd 波形编辑菜单的 运行	123
3.1 .MODEL——器件模型卡	46	7 PS 命令小结	125
3.2 .LIB——模型库调用卡	48	第7章 窗口版 PSpice6.2 的使用	126
4 .OPTIONS——可选项卡	48	1 窗口版 PSPICE 简介	126
5 子电路的定义和调用	50	2 电路图形输入	126
5.1 子电路的定义	50	2.1 图解编辑器	126
5.2 子电路的调用	51	2.2 图形编辑器的键盘命令	127
6 初始值设置和收敛性	52	2.3 图形编辑器中的热键	127
6.1 .IC 卡	52	2.4 绘制电路图的一般步骤	128
6.2 .NODESET 卡	52	3 Draw Menu——画图菜单 命令	128
7 输出控制卡	53	4 Edit Menu——编辑菜单 命令	130
7.1 .PRINT 卡	53	5 View Menu——观察菜单 命令	133
7.2 .PLOT 卡	53	6 Options Menu——选择项菜单 命令	134
7.3 .PROBE 卡	53	7 Markers Menu——探测笔菜单 命令	135
8 .INC 卡——包含(隐含)卡	54	8 Navigate Menu——页面运行 菜单命令	137
9 器件模型参数提取方法	54	9 File Menu——文件管理菜单 命令	137
9.1 PARTS 程序的调用	54	10 Tools Menu——工具菜单 命令	139
9.2 双极性晶体管模型参数提取	56	11 Help Menu——帮助菜单	
10 模拟电路宏模型 (Macro—Model)	56		
10.1 运算放大器宏模型	57		
10.2 运算放大器宏模型参数的 提取	57		
10.3 电压比较器宏模型	61		
第5章 分析例题及习题	64		
第6章 控制外壳 PS 的功能和 运行	111		
1 控制外壳的主菜单命令	111		
2 Files (编辑) 菜单的运行	112		

命令	140	14 分析电路步骤	143
12 Window Menu——窗口菜单		15 Analysis Menu——分析菜单	
命令	141	命令	143
13 绘制电路图示例	142	16 分析电路示例	145

第 2 篇 绘制电路图和印制电路板图软件

——OrCAD 使用指南

第 1 章 DRAFT 的调用	148	8.2 配置文件中的参数设置	180
1 OrCAD/SDT——电路图绘制		9 电路图文件结构	182
软件概述	148	10 电路图后处理实用程序	186
2 启动 DRAFT	148	10.1 后处理程序的调用方式	186
3 DRAFT 主菜单命令的功能		10.2 ANNOTATE.EXE——标注	
分类	149	程序	187
4 绘图命令的功能和使用		10.3 BACKANNO.EXE——反标注	
方法	150	程序	188
4.1 Get 和 Library——从元器件库		10.4 CLEANUP.EXE——整理	
提取元器件命令	150	程序	188
4.2 Place——连接命令	151	10.5 CROSSREF.EXE——交互	
4.3 Get、Library 和 Place 命令		参考程序	189
应用举例	157	10.6 ERC.EXE——电检程序	189
4.4 Block——块操作命令	161	10.7 LIBARCH.EXE——专属	
4.5 Repeat——重复命令	162	元件库程序	190
5 编辑修改命令	163	10.8 LIBLIST.EXE——元件库	
5.1 Edit——编辑命令	163	列表程序	190
5.2 Delete——删除命令	167	10.9 NETLIST.EXE——网络连接	
6 电路图存储输出命令	168	表程序	190
6.1 Quit——电路图存入磁盘		10.10 PARTLIST.EXE——元件	
命令	168	列表程序	191
6.2 HardCopy——打印命令	169	10.11 PLOTALL.EXE——绘图	
7 辅助命令	170	程序	191
7.1 Again——重复执行命令	171	10.12 PRINTALL.EXE——打印	
7.2 Find——快速查找命令	171	程序	191
7.3 Macro——宏命令	171	10.13 TREELIST.EXE——树形层次	
7.4 Jump——跳转命令	174	列表程序	192
7.5 Conditions——环境命令	176	11 调用 OrCAD/SDT 绘制	
7.6 Tag——标志命令	176	电路图例	192
7.7 Zoom——放大缩小命令	177	第 2 章 元器件图形符号库的	
7.8 Set——设置命令	177	改建	194
8 DRAFT/C——配置文件的		1 元器件图形符号库的编辑	
应用	179	软件	194
8.1 配置文件的作用	179	1.1 Body——元件主体编辑	195
		1.2 Condition——环境命令	196

1.3	Export——元件输出命令	196	1	OrCAD/PCB I 命令系统	208
1.4	Get Port——加载元件命令	196	1.1	Condition——内存分配命令	208
1.5	Import Port——元件输入命令	196	1.2	Layer——活动层命令	209
1.6	Library——元件库命令	196	1.3	Units——栅格命令	209
1.7	Name——命名命令	196	1.4	Block——块移动命令	209
1.8	Pin——管脚命令	197	1.5	Delete——删除命令	209
1.9	Quit——退出命令	197	1.6	Edit——编辑命令	209
1.10	Reference——编号命令	197	1.7	Place——放置命令	210
1.11	Set——设置命令	197	1.8	Quit——存储、退出命令	211
2	LIBEDIT 的局限性	198	1.9	Routing——自动布线命令	214
3	LIBEDIT 的使用练习	198	1.10	Set 命令	217
4	元器件图形符号描述语言	201	2	实用程序	218
5	Composer.exe 和 Decomp.exe 的调用	207	2.1	COMPNET 命令	218
5.1	启动 Composer.exe	207	2.2	MODLOC 命令	218
5.2	启动 Decomp.exe	207	2.3	MODMOD 命令	218
第3章 印制电路板版图的计算机辅助设计软件——OrCAD/PCB			2.4	NCDRL 实用程序	219
		208	2.5	PRINTPCB——打印命令	219
			3	印制电路板版图设计的基本步骤	219

第3篇 逻辑模拟

——OrCAD/VST 使用指南

第1章 逻辑模拟软件包

OrCAD/VST 简介

1	逻辑模拟的作用	223
2	OrCAD/VST 逻辑模拟软件包的组成	223
2.1	硬件配置	223
2.2	软件包的组成	223
3	OrCAD/VST 软件包的功能和特点	224
4	OrCAD/VST 运行环境的配置	225
5	OrCAD/VST 软件包的调用	227
5.1	软件调用	227
5.2	VST 显示主屏结构	227

第2章 逻辑模拟软件

SIMULATE

1	SIMULATE 输入文件的准备及调用方法	231
---	-----------------------	-----

1.1	输入文件	231
1.2	SIMULATE 的调用步骤	231
2	逻辑模拟主命令的分类	233
3	EDIT STIMULUS: 激励信号波形编辑	234
3.1	Add 命令	234
3.2	Delete 命令	235
3.3	Edit 命令	235
3.4	Insert 命令	237
3.5	Macro 命令	237
3.6	Quit 命令	237
3.7	Read 命令	238
3.8	Set 命令	238
3.9	Test Vector Edit——测试矢量编辑命令	238
3.10	Use——激励信号使用命令	239
3.11	Write——文件存储命令	240
4	TRACE——跟踪信号设置命令	240

4.1	Change View——显示		1.1	TVGEN 的功能	251
	变换命令	240	1.2	测试矢量源文件的格式	251
4.2	Disable Trace——跟踪无效	241	1.3	TVGEN 的使用	251
4.3	Enable Trace——跟踪有效	241	1.4	例题	252
4.4	Set Start Time——起始时间		2	SPOOLTV——测试矢量	
	设置命令	241		转换程序	252
4.5	Trace Editor——跟踪信号		2.1	SPOOLTV 的作用	252
	编辑命令	241	2.2	SPOOLTV 使用方法	253
5	模拟运行控制命令	244	3	TVCHECK——激励信号	
5.1	RUN SIMULATION——运行			查错程序	253
	命令	244	3.1	TVCHECK 的作用	253
5.2	INITIALIZE——清零命令	245	3.2	TVCHECK 调用格式	253
6	HARD COPY——结果输出		4	IBUILD——激励信号描述文件和	
	命令	245		跟踪信号描述文件形成程序	253
7	结果分析命令	246	4.1	IBUILD 的功能	253
7.1	PLACE MARKER——标志		4.2	IBUILD 的使用	253
	设置命令	246	5	ASCTOVST——文件	
7.2	DELETE MARKER——标志			转换程序	254
	删除命令	246	5.1	ASCTOVST 的功能	254
7.3	ZOOM——波形移动命令	246	5.2	ASCTOVST 的使用	254
8	辅助命令	247	第 4 章 逻辑单元特性数据库		255
8.1	AGAIN——重复执行命令	247	1	概述	255
8.2	BREAKPOINT——中断		2	元器件特性数据库	255
	设置命令	247	2.1	特性数据库的建库方法	255
8.3	CONDITIONS——计算机		2.2	元器件模型描述	256
	状态显示命令	249	2.3	器件模型描述语言	256
8.4	MACRO——宏命令定义命令	249	3	基本元器件组合单元	258
8.5	SET——任选项状态设置命令	249	3.1	门电路和逻辑门电路	259
9	QUIT——退出系统命令	250	3.2	三态门	259
			3.3	D 触发器	259
			3.4	JK 触发器	261
第 3 章 OrCAD/VST 的实用			第 5 章 逻辑模拟例题		263
	程序	251			
1	TVGEN——产生测试矢量				
	文件程序	251			

第 4 篇 电路设计专家系统开发工具

——EC-TOOL 使用指南

第 1 章 专家系统简介	285	第 2 章 电路设计专家系统与开发	
1	专家系统的发展与现状	工具 EC-TOOL	287
2	专家系统在电路设计中的	1	专家系统设计与原型系统
	应用及意义	2	电路设计专家系统的系统结构
			与控制策略
3	专家系统开发工具		288

2.1 系统结构	288	2.1 建立虚拟器件	309
2.2 系统的控制策略	290	2.2 根据动作需要, 修改器件的 延迟参数	311
2.3 系统的运行环境	290	3 黑板与控制	312
3 电路设计专家系统开发		3.1 黑板	312
工具——EC-TOOL	290	3.2 控制过程	312
第3章 模拟电路专家系统的设计	296	4 系统工作过程	312
1 如何设计一个专家系统	296	5 设计实例	313
1.1 控制部分	296	附录	320
1.2 模型化	296	附录1 PSPICE 命令索引	320
1.3 界面程序	299	附录2 OrCAD/SDT 和 PCB 命令 索引	323
2 设计实例	301	附录3 VST 命令、状态索引	327
第4章 数字电路专家系统的 设计	305	参考文献	330
1 数字电路设计的模型化	305		
2 界面程序	308		

第 1 篇 电路模拟软件

——PSPICE 使用指南

SPICE (Simulation Program for Integrated Circuits Emphasis) 是国际上著名的通用电路模拟(分析)程序。可对电路进行直流分析、交流分析、瞬态分析和不同温度分析等多种分析。在所分析的电路中,包括了常用的电子电路各种元器件,如电阻、电容、电感以及二极管、双极性晶体管、各种场效应晶体管等半导体器件和数字器件,SPICE 是一个多功能的电路模拟实验台,故它已成为一种工业标准工具。SPICE 是由美国加利福尼亚大学伯克莱分校研制的,从 70 年代初期间世以来,已有 20 多个版本,于 1989 年 4 月又推出了 SPICE.3C1 版本。PSPICE 可以说是它的微机用版本,是由 MicroSim 等公司出版的。1983 年 7 月推出 PSPICE1.01 版本,是一种教学和演示用版本,有人称为教学版。运算电路规模是十个晶体管左右,其功能与 SPICE.2G6 版本相类似,而操作更为简便且易于掌握。PSPICE1.01 版本可以在带有 512KB 存储器的 IBM-PC.XT 或 AT 机上运行,如果有浮点协处理器(8087 或 80287),将全速运行。否则,它将以低 5~10 倍的速度运行。它可以用黑白或者彩色的 CRT 显示,可以连接任何型号的打印机。

PSPICE 从 3.00 版本开始,用 C 语言重新做了改写,电路分析规模的最大值上升到 240 个晶体管。1988 年 5 月推出的 PSPICE3.07 版本,已将 PSPICE、Probe(图形后处理器)和 Parts(器件库)三者结成一体,可以交互调用。1989 年 7 月推出的 PSPICE4.02 版本,在分析功能上和半导体器件模型上又有增加,完全可以用之从事科学研究,故有人称为科研版。PSPICE4.02 版本可以在上述微机上运行,安装也很简便,但须有协处理器[⊙]。1991 年 7 月又推出 PSPICE5.00 版本,在 Probe 等方面又有明显进步,增强了数/模混合电路分析的功能。在其后于 1994 年和 1995 年又推出 PSPICE 6.1 和 6.2 版本,也称窗口版,采用图形输入方式,增加了参数最佳化,在 Probe 方面也有明显进步,并且兼容了 1.01、4.02、5.0 和 5.1 DOS 版本。

本篇编写时考虑到读者的实际需要,将以 PSPICE4.02 版本为主,介绍其功能和使用方法,再将 PSPICE5.00 版本、窗口版 6.2 与之相比的不同点进行补充说明。

本篇首先介绍了 PSPICE 的分析功能及其分析控制卡,其次介绍了电路的描述方法以及元器件模型卡,然后举例说明电路模拟方法,最后介绍了在集成环境下,即 PS——控制外壳的菜单命令的操作方法,再介绍窗口版 6.2 的使用。

⊙ 也可以用虚拟协处理器,如 Q387 程序替代,只是速度将降低。

第1章 分析功能及分析控制卡[⊖]

PSPICE 可对电路进行非线性直流分析、线性交流分析、非线性瞬态分析、不同温度时的电路分析和容差分析等多种分析。

1 直流分析

PSPICE 的直流分析部分，具有如下功能。

1.1 .DC——直流分析卡

它可对非线性元器件做直流分析。这时，电路中的电感短路，而电容开路。直流分析是其它分析的基础。因为在进行瞬态分析之前，PSPICE 自动地先进行直流分析，用以决定瞬态分析的初始条件；同样，在做交流小信号分析之前，程序也先自动地进行直流分析，以便决定非线性器件的线性化小信号模型参数。

直流分析卡的一般形式为：

```
.DC SRCNAM VSTART VSTOP VINCR  
(SRC2 START2 STOP2 INCR2)
```

SRCNAM 为独立电压源(或电流源)名，VSTART 为起始值，VSTOP 为最终值，VINCR 为增量值。〈 〉内为可选项，即可以设置第二个电源。SRC2 为第二个电源名，START2 为其起始值，STOP2 为其最终值，INCR2 为其增量值。

举例：

```
.DC VIN 0.25 5.0 0.25  
.DC VDS 0 10 0.5 VDG 0 5 1
```

例中 VDG 是从 0V 开始，以步长为 1V 增到 5V 的过程中，每增加 1V 都要对 VDS 从 0V 开始，以步长为 0.5V 增到 10V 重复地进行运算。

1.2 .OP——工作点卡

在电子电路中，确定静态工作点是十分重要的，这可用 .OP 卡来完成。用 .OP 卡就不必再用 .DC 卡。这时，输出是各节点电压。工作点卡操作最简单，它的一般形式：

```
.OP
```

1.3 .TF——转移(传输)函数卡

分析时，PSPICE 计算指定输出变量，例如指定节点电压 V(5)，对输入源之比。例如输入源为电压源 VIN，则其电压放大倍数 V_{out}/V_{in} 写作：

```
.TF V(5) VIN .
```

一般形式：

```
.TF OUTVAR INSRC
```

[⊖] 卡(Card)——卡片之意，现作程序语句用，如 .DC。由于前面有“.”故有人称之为点语句。

OUTVAR 为输出变量, INSRC 为小信号输入源名。

举例:

.TF V(5) VIN (输出为电压放大倍数)

.TF V(3,5) VIN (V(3,5) 为连结在节点 3 与节点 5 的支路电压, 输出亦为电压放大倍数)

.TF I (RL) VIN (I (RL) 为负载电阻 RL 中的电流, 输出为转移电导)

在计算直流转移函数的同时, 自动地计算出电路的输入电阻和输出电阻, 这对考虑电路匹配有用。仍以 V(5) /VIN 为例, 其输出格式如下:

* * * * SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

V(5) /VIN =1.162D+02[⊖]

INPUT RESISTANCE AT VIN =8.738D+03

OUTPUT RESISTANCE AT V(5) =1.3320D+04

1.4 产生直流传输曲线

在用户规定的范围内, 直流输出变量值与某个指定的独立电压源 (或电流源) 步进变化之间的对应关系也可用曲线描绘出来。例如双极性晶体管 Q2 的集电极电流 IC (Q2) 对输入电压 VIN 的对应曲线可写作:

.DC VIN -0.25 0.25 0.005

(即电源电压由 -0.25V, 以步长 0.005V, 步进到 0.25V, 共进行 101 次变化)。

.PLOT DC IC(Q2)

(.PLOT 为绘图卡, 此控制语句规定在同一张纸上可印 1~8 条曲线)。

1.5 .SENS——确定直流小信号灵敏度卡

多数用户对它比较陌生, 而它又很有用。灵敏度的含义是电路输出变量 (网络函数) T 相对于某一参数 X 的灵敏程度, 用符号 S_x^T 表示, 其定义为

$$S_x^T = \frac{\partial T}{\partial X}$$

常用的是相对灵敏度:

$$(1) \quad S_x^T = \frac{\partial T}{\partial X} \cdot \frac{X}{T} = \frac{\partial T}{T} / \frac{\partial X}{X} = \frac{\partial (\ln T)}{\partial (\ln X)}$$

$$(2) \quad S_x^T = \frac{\partial T}{\partial X} \frac{X}{100}$$

前者为网络函数相对增量与元件参数相对增量之比。后者为元件参数变化百分之一时, 网络函数的增量。

一般形式:

.SENS OV1 <OV2...>

举例:

.SENS V(2) V(4,3)

输出结果举例, 见表 1.1-1。

⊖ D 表示双精度。

表 1.1-1 灵敏度分析的输出结果

DC	SENSITIVITIES	OF OUTPUT	V(1, 2)	
	ELEMENT NAME	ELEMENT VALUE	ELEMENT SENSITIVITY (VOLTS/UNIT)	NORMALIZED SENSITIVITY (VOLTS/PERCENT)
	R1	5.000D+00	3.730D-02	1.875D-03
	R2	1.000D+01	-1.250D-02	-1.250D-03
	R3	5.000D+00	3.750D-02	1.875D-03
	I	2.000D-01	1.250D+00	2.500D-03
	:			

注：仅从表中所列数据可知 I 的变化对 V(1,2) 影响大。

2 交流小信号分析

交流分析用的是频域分析，即把用户指定的交流输出量作为频率的函数来计算。程序首先自动计算电路的直流工作点，并确定电路内所有非线性器件的线性小信号模型参数。然后再对这个线性化的电路进行频域分析。其功能如下

2.1 .AC——交流分析卡

交流小信号分析所希望的输出，通常是一个转移函数（电压增益、跨导、转移阻抗等）。如果电路只有一个交流输入，可以很方便地把输入幅度设为 1，相位设为 0。这样，输出变量的值就是输出对输入的转移函数值。如果输入、输出都是电压（或电流），那么输出变量的值就是电压（或电流）的增益。

一般形式：

.AC [LIN/OCT/DEC] <POINTS> <FSTART> <FSTOP>

其中，选择项 [LIN/OCT/DEC] 规定了频率扫描点的取样方式：LIN 表示线性扫描，即在起始值和终止值之间线性变化；OCT 表示按倍频程（8dB）扫描；DEC 表示按数量级（10dB）扫描。LIN 选择项通常用于较窄的频域分析，而 DEC 选择项通常用于宽频带分析。

<POINTS> 是扫描点的数目。

<FSTRAT> 和 <FSTOP> 分别为起始频率和终止频率。

举例：

.AC LIN 101 10Hz 200Hz

.AC OCT 10 1kHz 16kHz^①

.AC DEC 20 1MEG 100MEG

其中，Hz 可以不写，各物理量皆按标准单位进行计算，16kHz、16K、16000 和 16E3 等同。进行交流分析时，必须至少有一个交流电源。

2.2 .NOISE——噪声分析卡

电阻和半导体器件产生的白噪声，也可用 PSPICE 的交流小信号分析部分来模拟。等效的噪声源值可以自动地由电路的小信号工作点来确定。每个噪声源产生的噪声，都在指定的求和点相加。程序可计算出每个频率点上总的输出噪声电平及其等效的输入噪声电平。输出和输入噪声电平，都对噪声带宽的平方根进行归一。因此，单位是 V/√Hz 或 A/√Hz。可以将

① 比例因子有：T=1E12 (=10¹²)，G=1E9 (=10⁹)，MEG=1E6，K=1E3，MIL=25.4E-6，M=1E-3，U=1E-6，N=1E-9，P=1E-12，F=1E-15。

输出噪声和等效的输入噪声打印和绘制出来，其格式与其输出变量的格式相同。对这种分析不需要其它附加的输入数据。

一般形式：

.NOISE OPVAR NAME IVAL

用此卡可控制电路的噪声分析，它是与.AC卡一起进行的。OPVAR是指定的求和点的输出电压；NAME是作为噪声输入基准的独立电压源名或独立电流源名；IVAL是间隔点数。

举例：

.NOISE V(5) VIN 10

程序将在指定的输出端V(5)计算等效的输出噪声，以及在指定的输入端VIN计算等效的输入噪声。另外，在每个间隔频率点（共10点），电路中每个噪声源的贡献都将打印出来。

输出噪声和等效输入噪声既可同时打印和绘制，也可单独打印或绘制。

举例：

.NOISE V(5) VIN

.PRINT NOISE INOISE ONOISE[⊙]

.PLOT NOISE INOISE ONOISE

电阻的噪声模型如图1.1-1所示。

图1.1-1中， $i_{nR} = \sqrt{4kT/R}$ 。k为波尔兹曼常数，T为温度。

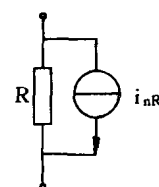


图 1.1-1 电阻
噪声模型

2.3 交流输出变量及其表示方式

交流分析完成后，用户可依需要，将输出变量按表1.1-2中所列的格式输出。

表 1.1-2 交流输出变量的格式

交流输出变量	表示方式	举 例	交流输出变量	表示方式	举 例
①电压或电流幅值	M	VM(5) IM(RL)	④电压或电流虚部	I	VI(5) II(RL)
②电压或电流幅角(相位)	P	VP(5) IP(RL)	⑤电压或电流幅值/dB	DB	VDB(5) IDB(RL)
③电压或电流实部	R	VR(5) IR(RL)	⑥电压或电流的群时延	G	VG(5) IG(RL)

交流变量通常是以幅值、幅角（相位）和实部、虚部表示；用分贝数表示幅值也比较常用。对于滤波器或信号处理器来说，相频特性（相位响应）是一个非常重要的电路特性，当信号的相频特性是线性的，信号通过电路后将维持原来的波形，只不过在时间上有一延迟。当信号的相频特性是非线性的，则波形会发生畸变。

群时延的定义是相位相对于频率的变化率的负值

$$\text{群时延 (G)} \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{dP(\text{相位})}{dF(\text{频率})}$$

PSPICE 利用相位和频率的差分来计算群时延，因此，只要两个相邻扫描点的频率间隔不太大，分析误差是很小的。

3 瞬态分析

瞬态分析是时域响应，即把用户指定的瞬态分析变量作为时间的函数来计算，先自动计

⊙ .PRINT 为打印卡，打印出变量的数值，而.PLOT 为绘图卡，绘制出变量的曲线。

算电路的直流工作点, 求出瞬态分析的初始值。分析时, 对与时间无关的源 (如供电电源) 均置成它们的直流值。

电路分析中运用最多、最复杂, 而且计算机资源耗费最高的部分是进行动态电路的瞬态分析。所谓动态电路, 是指含有储能元件 (电容或电感) 的电路。这时, 描述电路方程的一般形式将是一个非线性微分方程组, 这就必须采用适当的数值积分法进行求解, 即将非线性微分方程组转化为非线性代数方程组, 然后再用牛顿-拉夫逊迭代法求解。因此, 在对非线性电路进行瞬态分析时, 每求一个离散值, 相当于求解一次非线性代数方程组, 即进行若干次 (几十次到上百次) 牛顿迭代。于是, 瞬态分析所需要的总的迭代次数是离散化迭代次数与牛顿迭代次数的乘积, 这意味着计算量是很大的。故 PSPICE1.01 版本要求离散点不得超过 201 个, PSPICE4.02 版本为 5000 个, 如不够用还可以调整, 具体调整方法见本篇第 4 章。

3.1 .TRAN——瞬态分析卡的一般形式

.TRAN [/OP] TSTEP TSTOP [TSTART [TMAX]] [UIC]

其中, /OP 选择项, 命令 PSPICE 输出静态工作点电压表。TSTEP 是打印机输出的打印或作图的增量。在使用后处理器 PROBE 时 (见第 6 章), TSTEP 就是建议的计算增量。TSTOP 是终止时间。TSTART 是初始时间, 如果省去 TSTART, 就认为其值为零。瞬态分析总是从时间为零开始的。如有 TSTART 只是说明在此时间之前没有输出, 而且瞬态分析的值也没有存储起来。TMAX 是程序将采用的最大步长, 程序选择 TSTEP 和 (TSTOP-TSTART)/50 中的较小值作为缺省值。当希望确保计算间隔小于打印机的输出增量 TSTEP 时, TMAX 是很有用的。

UIC (使用初始条件) 是一个可选项的关键字, 它表明用户不要求程序求解工作点。但要注意它要求与下面讲述的各元件上的可选项 (见 .IC 卡说明) 一并使用, 这将在例题中说明。

一般形式:

.IC V(1) = V1 I(L1) = I1.....

举例:

.TRAN Ins 100ns

.TRAN/OP Ins 100ns 20ns UIC

.IC V(5) = 3.6 V(8) = 0.1

3.2 .FOUR——傅里叶分析卡

对于大信号正弦模拟时, 可以对输出波形进行傅里叶分析, 从而得到频域的傅里叶系数。因为从数学上看, 任何周期函数皆可分解为傅里叶级数 (当然需要满足狄氏条件)。如图 1.1-2 所示, 即为周期函数分解为各次谐波的示例。

PSPICE 能在大信号作用下, 在指定的基本频率上进行对输出波形的傅里叶分析, 从而得到指定频率范围的傅里叶系数, 直到九次谐波分量。加上直流分量共可输出十个值。它需与 .TRAN 卡一同使用。

一般形式:

.FOUR FREQ OV1 <OV2 OV3...>

FREQ 是基本频率, OV1、OV2... 是

要求分析的输出变量。

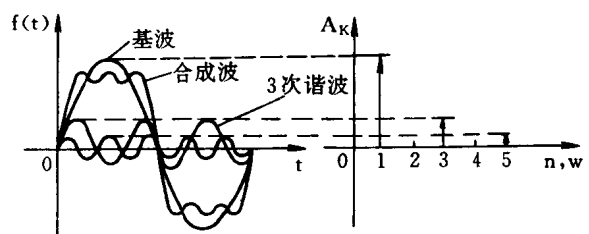


图 1.1-2 周期函数可分解为各次谐波

举例：

.FOUR 100K V(5)

.FOUR 50K I(L1)

傅里叶分析的时间区间为从 (TSTOP-1/FREQ) 开始到 TSTOP 终止。计算完成后，程序自动输出各次谐波的幅值和相位（绝对值或相对值），并计算谐波失真。

谐波失真定义是各次谐波幅值的方均根值与基波幅值之比。

$$\text{谐波失真} = \left(\frac{1}{8} \left[(V_2)^2 + (V_3)^2 + \dots + (V_9)^2 \right] \right)^{1/2} / V_1$$

4 不同温度时的电路分析

PSPICE 的所有输入数据都被认为是在常温 27°C (300K) 下测得的。模拟也假定是在 27°C 这一标称温度下进行的。只要使用 .TEMP 卡，电路就可以在其它指定温度下进行模拟。

在二极管和双极性晶体管等模型中，已考虑到温度的影响。而温度对电阻的影响由下式模拟：

$$\text{VALUE (TEMP)} = \text{VALUE (TNOM)} * (1 + \text{TC1} * (\text{TEMP} - \text{TNOM})) + \text{TC2} * (\text{TEMP} - \text{TNOM}) * * 2$$

式中，TEMP 是电路的温度；TNOM 是标称温度；TC1 和 TC2 是一次项和二次项温度系数，这需要用户给出。

一般形式：

.TEMP T1 <T2...>

举例：

.TEMP 35 -20

5 容差分析[⊙]

上面介绍的直流分析、交流分析和瞬态分析，都是在给定电路的结构和参数条件下，分析其响应的方法。可是，电路中各个元器件的实际参数与标称值不可避免地有一定的偏差，称为公差。因此，我们有必要知道这些元件参数变化（有公差）时对电路特性的影响。所谓容差分析就是研究元件数值，比如电阻的变化（公差），或者影响元件数值的物理参数，比如温度的变化（公差），对某些电路特性（比如电压增益）的影响。或者相反，由给定的电路特性（响应）的公差，求构成电路元器件参数的公差。

PSPICE 的容差分析是在用户给定的参数容差范围，计算所有元器件参数变化时对电路特性的影响，一般采用最通用的容差分析法——蒙特卡洛 (Monte Carlo) 统计分析法。

5.1 .MC——蒙特卡洛分析卡

一般形式：

.MC <RUNS VALUS> [DC/AC/TRAN] <VOUTPUT> [FUNC]

+[⊕] [LIST] [OUTPUT <OUTPUT SPECIFICATIONS>]

其中，RUNS VALUS 规定 .MC 卡运行的总次数；DC/AC/TRAN 是定义对哪种分析进

⊙ 初读时，此节可暂不看。

⊕ “+”为续行号，在一行书写不下时可用它续行。