

EDA 工具应用丛书

Spice/PSpice 编程技术

高燕梅 房蔓楠 编著

215

71 302
G2f

EDA 工具应用丛书

Spice/PSpice 编程技术

高燕梅 房蔓楠 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

在众多的计算机辅助设计(CAD)工具软件中,Spice 程序是精度最高、最受欢迎的软件工具,许多 EDA 系统软件的电路模拟部分都是用 Spice 程序来完成的。本书系统讲述 Spice/PSpice 编程技术,并提供大量的编程仿真实例。全书分为 7 章。第 1 章介绍 Spice 程序的功能和特点;第 2 章和第 3 章分别介绍 PSpice DOS 版和 Windows 版的编程、电路图绘制、电路分析及波形处理方法;第 4 章介绍元器件的 Spice 模型及参数;第 5 章介绍各种 Spice 数学宏模型和系统宏模型;第 6 章给出常用电路的仿真实例;第 7 章讲述运行 Spice 程序时可能出现的不收敛现象以及克服不收敛问题的方法。

本书可作为大中专院校电子类专业的教材或实验参考书,也可供电子系统设计、开发人员和电路设计爱好者参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

Spice/PSpice 编程技术/高燕梅,房蔓楠编著. —北京:电子工业出版社,2002. 6

(EDA 工具应用丛书)

ISBN 7-5053-7691-8

I. S… II. ①高… ②房… III. 电子电路—计算机辅助设计—应用软件, Spice/PSpice—程序设计
IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 035519 号

责任编辑:张来盛

印 刷:北京天宇星印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:19.25 字数:492.8 千字

版 次:2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

印 数:6 000 册 定价:28.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

前 言

随着计算机技术的飞速发展,计算机辅助设计(CAD)技术已成为电路设计工程师不可缺少的有力工具。国内外电子线路 CAD 软件的相继推出与版本更新,使 CAD 技术的应用渗透到电子线路与系统设计的各个领域,如电路图的绘制、模拟电路仿真、逻辑电路分析、优化设计、印刷电路板的布线等。CAD 技术的发展使得电子线路设计的速度、质量和精度得以保证。在众多的 CAD 工具软件中,Spice 程序是精度最高、最受欢迎的软件工具,许多 EDA 系统软件的电路模拟部分是应用 Spice 程序来完成的。

PSpice 是 Spice 程序应用在 PC 上的程序,它的主要算法与 Spice 相同。由于 PSpice A/D 程序集成了模拟与数字电路的仿真运算法,它不仅可以仿真单一的模拟电路或数字电路,而且可以有效、完善地仿真模拟和数字混合电路。经过多年的改版,PSpice A/D 以其强大的功能及高度的集成性而成为现今最受欢迎的电路仿真软件。PSpice 程序已被另一家在 EDA 领域的大公司 OrCAD 并购,更名为 OrCAD PSpice A/D,版本升级为 V9。

根据多年来对 Spice 程序的学习和研究,我们认为,虽然 PSpice 程序不断升级,各种版本的编辑窗口变化多端,而且新功能不断发展,令初学者眼花缭乱,但如果能首先掌握 Spice 程序的基本编程语言,即 PSpice DOS 版的编程方法,了解 Spice 程序的基本计算方法和常用模型,就掌握了 PSpice 程序的真谛,任何版本的 PSpice 程序都能轻松驾驭。基于这一点,在编辑本书时,我们以 PSpice 的 DOS 版为例,详细讲解 Spice 的基本编程语言,由浅入深,力求清晰易懂。这是本书与其他 PSpice 程序书籍不同的重要特点,希望读者在使用本书时会有深刻体会。

本书内容分为 7 章。第 1 章概要介绍 Spice 程序的功能和特点;第 2 章详细介绍 PSpice DOS 版的编程方法和各种分析功能,对各种元器件及电路给出了编程示例,使得初学者很容易掌握;第 3 章详细介绍 PSpice Windows 版应用软件的电路图绘制和电路分析、数据波形处理方法;第 4 章详细介绍二极管、BJT 晶体管、MOS 场效应管等器件的模型电路及参数,并有详尽的图形、公式讲解;第 5 章介绍应用 PSpice 程序编程功能实现的各种数学宏模型和系统宏模型,这些宏模型可以内置于电路系统中,代替部分电路模块的功能或作为测试源,也可以代替不需设计的电路部分,使得电路系统的分析测试简化,精度提高;第 6 章给出一些常用电路的仿真实例;第 7 章介绍运行 Spice 程序时可能出现的不收敛现象和克服不收敛问题的方法。

本书的主要特点:

(1) 适用于初学者。本书对 DOS 版的 PSpice 程序作了详细的介绍,给出了各种电路的编程举例;对 Windows 版 PSpice 程序的各种菜单命令给出了详细的说明,使初学者能很快学会绘制电路图的方法,并应用各种指令进行分析,打印输出结果。

(2) 适用于本科、专科学生和电路设计爱好者。学生在学会应用 Spice 程序后,可以随时方便地利用 Spice 软件检查作业,完成电路设计编程和课程设计任务。如果他们对电路的基本理论不清楚,就不会有正确的运算步骤,也不能从程序中得到正确的解答,这时学生就需要修改程序。这种反复运算的过程是教会学生基本理论的有效方法。电路教学实践表明,教科

书中的习题没有惟一的题解,最好的解答往往是越出常规的。理论学习好的学生,往往不一定能解决实际的工程问题,从而不能适应激烈的市场竞争的需要。实际的工程问题必须通过反复的设计实践来解决。应用 Spice 程序进行设计,能够培养学生的创造性思维。

(3) Spice 程序是实验教师的好帮手。粗通计算机技术的教师可以通过本书迅速地掌握 Spice 编程技术,将其应用于实验教学,既可以鼓励学生进行创造性的实验活动,又可以帮助学生加深理解理论分析的步骤和结果。在实际应用元器件和仪表进行实验时,由于元器件、设备和时间的限制,学生只能做一些确定的实验。而应用 Spice 软件进行设计,学生可以进行多种电路实验,将多种设计方案输入计算机,用 Spice 软件调测设计电路,比较、改进设计结果。一些实际电路的成功设计,可以更加激发同学们的创造热情,迅速提高他们的电路设计能力。

(4) 为工程技术人员提供了详尽的模型资料和有效的宏模型。读者在设计电路时,可根据设计需要选定模型参数,在调测电路时可以通过修改模型参数来得到最佳设计结果。

由于编著者水平有限,加之时间仓促,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者
2002 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
第 2 章 PSpice DOS 版编程	(4)
2.1 概述	(4)
2.1.1 DOS 版 PSpice 的组成	(4)
2.1.2 PSpice 的安装与运行	(5)
2.2 电路描述	(5)
2.2.1 电路描述语句	(6)
2.2.2 分析指令格式	(9)
2.2.3 输出指令格式	(10)
2.2.4 简单程序举例	(10)
2.3 元器件描述	(11)
2.3.1 元件描述语句	(11)
2.3.2 器件描述语句	(20)
2.3.3 电源描述语句	(49)
2.4 分析指令	(55)
2.4.1 直流分析指令	(55)
2.4.2 交流分析指令	(57)
2.4.3 噪声分析指令	(57)
2.4.4 瞬态分析指令	(58)
2.4.5 傅里叶分析	(58)
2.5 输出指令	(59)
2.5.1 数据打印语句	(59)
2.5.2 文本绘图语句	(61)
2.5.3 图形后处理程序	(62)
2.5.4 打印宽度语句	(62)
2.6 其他功能描述语句	(63)
2.6.1 任选项语句	(63)
2.6.2 结束语句	(64)
2.6.3 包含语句	(64)
2.7 子电路与库函数	(64)
2.7.1 器件模型语句. MODEL	(65)
2.7.2 库函数调用语句. LIB	(65)
2.7.3 子电路调用语句. SUBCKT	(66)
2.8 数字电路模拟	(66)

2.8.1	概述	(66)
2.8.2	数字电路器件	(67)
2.8.3	数字信号源	(72)
2.8.4	数字电路的 PSpice 分析	(76)
第 3 章	PSpice Windows 版编程	(83)
3.1	概述	(83)
3.2	绘制电路原理图	(83)
3.2.1	打开 Schematics 程序项	(84)
3.2.2	绘图窗口的功能键	(84)
3.2.3	绘图常用命令项	(85)
3.3	电路分析	(92)
3.3.1	打开 PSpice 程序项	(92)
3.3.2	PSpice 常用命令项	(92)
3.4	查看输出波形	(93)
3.4.1	打开 Probe 程序项	(93)
3.4.2	Probe 窗口的功能键	(93)
3.4.3	Probe 常用命令项	(95)
3.5	建立元件库	(97)
3.5.1	打开 Parts 程序项	(98)
3.5.2	元件库窗口的功能键	(98)
3.5.3	Parts 常用命令项	(99)
3.6	激励源编辑器	(103)
3.6.1	打开激励源编辑窗口	(103)
3.6.2	激励源编辑窗口的功能键	(104)
3.6.3	激励源编辑器常用命令项	(104)
3.7	设计举例	(110)
3.7.1	设计一个数字电路	(110)
3.7.2	温度分析实例	(115)
3.7.3	噪声分析实例	(120)
3.7.4	傅里叶分析实例	(122)
3.7.5	参数分析实例	(124)
3.7.6	Monte Carlo 分析与性能分析	(127)
3.7.7	最差情况分析	(130)
第 4 章	Spice 元件模型与模型参数	(134)
4.1	Spice 二极管模型	(134)
4.1.1	大注入电流的二极管静态 DC 模型	(136)
4.1.2	二极管大信号模型	(138)
4.1.3	二极管的温度模型	(138)
4.2	双极型晶体管模型和参数提取	(139)
4.2.1	BJT 模型概述	(139)

4.2.2	Ebers - Moll 模型	(141)
4.2.3	Gummel - Poon 模型	(145)
4.3	MOS 场效应管(MOSFET)模型参数和提取	(150)
4.3.1	MOSFET 的 Spice 一级静态模型	(150)
4.3.2	MOSFET 二级静态模型	(152)
4.3.3	MOSFET 三级静态模型	(154)
4.3.4	MOSFET Spice 模型的比较	(155)
4.4	结型场效应晶体管(JFET)模型和参数提取	(157)
4.4.1	N 沟道 JFET 静态模型	(158)
4.4.2	JFET 大信号模型	(159)
4.5	砷化镓金属半导体场效应晶体管(GaAs MESFET)模型	(160)
4.6	数字器件模型	(161)
4.6.1	逻辑门电路	(161)
4.6.2	触发器	(164)
4.6.3	可编程逻辑器件(PLA)	(167)
4.6.4	数字 I/O 接口子电路	(170)
4.6.5	7400 系列 TTL 和 CMOS 模型库	(173)
4.6.6	CMOS 4000 系列模型库	(184)
4.6.7	数字器件模型举例	(187)
第 5 章	Spice 数学宏模型	(192)
5.1	数学功能宏模型	(192)
5.1.1	电压加法器宏模型	(192)
5.1.2	电压乘法器宏模型	(193)
5.1.3	电压除法器宏模型	(195)
5.1.4	电压平方宏模型	(196)
5.1.5	理想变压器宏模型	(197)
5.1.6	电压求平方根宏模型	(198)
5.1.7	三角波/正弦波转换器	(200)
5.1.8	电压相移电路	(202)
5.1.9	电压积分器宏模型	(204)
5.1.10	电压微分器宏模型	(206)
5.1.11	电压绝对值宏模型	(207)
5.1.12	电压峰值探测器宏模型	(210)
5.1.13	频率乘法器	(211)
5.1.14	频率除法器	(213)
5.1.15	频率加法器、减法器	(215)
5.1.16	相位探测器	(217)
5.1.17	传输线宏模型	(219)
5.1.18	施密特触发器宏模型	(220)
5.1.19	电压取样 - 保持电路宏模型	(222)

5.1.20	脉冲宽度调制器宏模型	(224)
5.1.21	电压幅度调制器宏模型	(226)
5.1.22	电压对数放大器宏模型	(228)
5.1.23	N 次根提取电路宏模型	(229)
5.1.24	拉氏变换宏模型	(232)
5.2	系统方程宏模型	(232)
5.2.1	微分方程组的积分型模拟法	(232)
5.2.2	微分方程组的微分型模拟法	(236)
5.2.3	网络函数的 Spice 电路模型	(238)
5.3	非线性器件的 Spice 模型	(246)
5.3.1	传感器件的 Spice 瞬态分析	(246)
5.3.2	负值电感和电容的 Spice 宏模型	(250)
5.3.3	运算放大器的 Spice 宏模型	(252)
第 6 章	常用电路编程实例	(259)
第 7 章	Spice 的收敛问题	(290)
7.1	什么是收敛问题	(290)
7.2	如何解决收敛问题	(290)
7.2.1	解决不收敛问题的思路	(290)
7.2.2	解决不收敛问题的可行方法	(291)
7.2.3	解决不收敛问题的条件参数和指令	(292)
7.3	常见的错误信息	(293)
参考文献		(299)

第 1 章 绪 论

Spice(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)是一种通用电路分析程序,能够分析和模拟一般条件下的各种电路特性。

Spice 的发展已有 30 多年的历史。20 世纪 60 年代中期,IBM 公司开发了 ECAP 程序。以此为起点,美国加州大学伯克利分校(U. C. Berkeley)于 60 年代末开发了 CANCER 电路分析程序,并在 CANCER 的基础上,于 1972 年推出了 Spice 程序。1975 年,伯克利推出了升级版 Spice2,而后又相继推出 Spice2G,Spice3A,...,Spice3G。Spice 源程序是开放的,能够迅速地进行扩展和改进,使得它的电路分析功能不断扩充,算法不断完善,元器件和模型不断增加和更新,分析精度和运行时间也得到有效的改善,因而成为工业和科研上电路模拟的标准工具。

PSpice 是 Spice 家族的一员,其主要算法与 Spice2 相同。它是由美国 Microsim 公司于 1984 年推出的。由于 PSpice 可以应用于 IBM 个人计算机(PC)上,使得工科院校的学生可以应用计算机进行电路的设计,因而 PSpice 越来越流行。随着版本的升级,PSpice 的功能不断完善。由于其 PSpice A/D 高超的电路仿真能力,Microsim 公司被 EDA 领域最负盛名的公司——OrCAD 并购,PSpice 程序因此正式更名为 OrCAD PSpice A/D,版本升级至 V9。

OrCAD PSpice A/D 在整个 OrCAD 设计环境中负责电路的仿真和验证工作,它可以当做一个软件的电路面包板,用户在上面建立电路模型和设置激励信号后,可根据要求来测试设计的电路,经过调测、修改和优化,如果仿真结果顺利通过检测,就可以进入后续的 Layout Plus 程序,进行印刷电路板(PCB)的设计;或者进入 Express 程序,进行可编程逻辑阵列(PLD)的设计。此外,还有其他 Spice 版本(引伸版)进入市场。Meta-software 公司推出的 HSpice,包含特殊的元器件模型,特别适合于集成电路的辅助分析和设计,而 A.B.Associates 公司推出的 IG-Spice 和 NCSS 公司推出的 I-Spice,更看重交互式电路模拟和图形输出。总之,在小型机上运行的 Spice 版本有:

HSpice	(Meta-Software 公司)
RAD-Spice	(Meta-Software 公司)
IG-Spice	(A.B.Associates 公司)
I-Spice	(NCSS Time Sharing 公司)
PSpice	(Microsim 公司)

在 PC 机上运行的 Spice 版本有:

ALL-Spice	(Acotech 公司)
IS-Spice	(Intusoft 公司)
I-Spice	(I-Tech 公司)
Spice-Plus	(Analog Design Tools 公司)
DSpice	(Daisy Systems 公司)
PSpice	(Microsim 公司)

Spice 程序能够代替面包板、示波器等整个电子实验室的功能,对复杂的电路与系统进

行分析,这主要是由于 Spice 程序含有高精度元器件模型。获取准确的器件模型参数对于电路分析和设计人员来说是非常重要的(但又是困难的)。Spice 程序具有庞大的器件库。其中包括:

- 无源器件模型,如电阻、电容、电感、传输线等;
- 半导体器件模型,如二极管、双极型晶体管、结型场效应管(JFET)、MOS 场效应管(MOSFET)等;
- 各种电源,包括线性和非线性的受控源,如独立电压源、电流源,受控电压源、电流源等;
- 模/数(A/D)、数/模(D/A)转换接口电路以及数字电路器件库。

应用 Spice 程序,可以建立许多宏模型电路,这使得运算放大器、电压比较器等电路功能的模拟成为可能。应用 Spice 程序还可以进行多种电路分析,这些分析包括:

- 非线性直流分析(.DC),计算电路的直流工作点;
- 线性小信号分析(.AC),分析电路的频率响应;
- 瞬态分析(.TRAN),确定电路的时域响应;
- 小信号电路直流传输特性分析(.TF);
- 直流小信号灵敏度分析(.SENS);
- 畸变分析(伴随交流分析);
- 噪声分析(.NOISE)(伴随交流分析),计算特定输出和输入节点的等效输出、输入噪声;
- 输出变量的傅里叶分析(.FOUR)(与瞬态分析同时完成);
- 温度分析(.TEMP);
- 数字电路分析,包括电路的逻辑运算和延迟时间的计算;
- A/D、D/A 转换电路的分析。

PSpice 程序与 Spice 程序和其他微机运行的 Spice 引伸版本程序相比,有以下特点。

(1) 提高了器件模型精度,增加了模型和器件种类。

(2) 具有激励信号波形编辑功能,可以将需要的激励信号波形编辑成以时间、频率等参数为变量的图形,以便进行电路分析。

(3) 可输出曲线后处理程序(.Probe)。Probe 可以协助用户快速精确地观察电路特性,并具有软件测量功能。Probe 可以测量各种各样的基本电路特性和衍生的电路特性数据。利用曲线显示技术,PSpice 可以得到任意电路节点和支路的电压、电流波形;可以显示出一些由记录数据所衍生出来的波形数据,如波特图、相位边界、迟滞图、上升时间等;可以定义多重窗口,在不同窗口显示不同信息,以利于电路特性的比较,使用户能够轻松地判断出电路是否合乎要求。

(4) 可进行数字模拟和数模混合模拟。Spice 程序没有数字模拟功能,而 PSpice 有数/模接口的 I/O 电路,可以进行数/模、模/数信号转换,以及数字电路和数模混合电路的分析。

(5) 具有元件库扩充功能。尽管 OrCAD PSpice A/D 已经建立了许多常用的电子元件模型(模拟元件模型约 11300 个,数字元件模型 1600 个),但是随着制版技术的进步和新的电子元件不断问世,可能会遇到元件库内恰好没有的元件,这时用户可以用元件编辑程序(Parts)新建或修改元件的特性,造出合乎要求的新元件模型。Parts 软件具有参数提取功能,能通过用户提供的简单测量数据,生成适用于电路模拟的模型、参数和特性曲线。所

生成的 PSpice 格式的模型，既适用于建库,也可直接进行电路分析。

(6) 模块化和层次化设计。随着电路日益庞大、复杂，电路设计的方法也趋于模块化和层次化。根据电路的特性和复杂程度，将整体电路切割成多个子电路，先绘制和模拟每一个子电路，待相关的子电路模拟全部完成后，再将它们组合起来进行仿真，最后完成整体电路。OrCAD PSpice A/D 具有协助模块化和层次化设计所需的功能。

(7) 良好的人机界面和控制方式。PSpice 有 DOS 和 Windows 两种版本，都以下拉式菜单的方式操作，对建立输入文件、结果显示、出错提示、信息查询、状态设置、参数修改以及文件存取等提供了方便的工具，在电路模拟和文件建立等过程中，都有在线提示，初学者使用起来也很方便。

第 2 章 PSpice DOS 版编程

PSpice 作为 PC 机上运行的通用电路分析程序,有 DOS 和 Windows 下运行的两个版本。这一章主要介绍 DOS 版编程方法。

2.1 概 述

2.1.1 DOS 版 PSpice 的组成

DOS 下运行的 PSpice 由以下 6 个部分组成。

(1) 电路输入文件编辑器 EDIT。将需分析的电路按电路描述语言和规则进行输入、编辑,加入控制指令,生成扩展名为“.cir”的文件。有语法错误时,编辑器会有错误信息提示。

(2) 电路分析程序 PSpice。将电路输入文件 filename.cir 按分析指令进行相应分析。生成 filename.dat 数据文件和 filename.out 输出文件。filename.dat 和 filename.out 文件可直接输出打印。其格式如下:

```
C:\pspice>pspice1
```

```
You may use <enter> alone to exit PSpice
```

```
Input file name [.cir]? test1
```

```
Output file name [test1.out]?
```

输出文件的默认名与输入文件名相同。

(3) 曲线显示处理器 Probe 程序。Probe 程序可以显示 filename.dat 数据文件记录的输入、输出曲线,可以以各种比例的线性坐标、对数坐标等方式显示。

(4) 电源波形编辑产生器 StmEd。可编辑、显示各种输入激励源波形。

(5) 模型元件库产生器 Parts。可以进行模型参数提取,建立新元件库。

(6) 控制程序 CS (Control Shell)。将以上 PSpice 各种功能和各组成部分,由窗口形式组合起来,产生一个良好的人机交互界面,便于用户运行操作。控制程序窗口如图 2-1 所示。

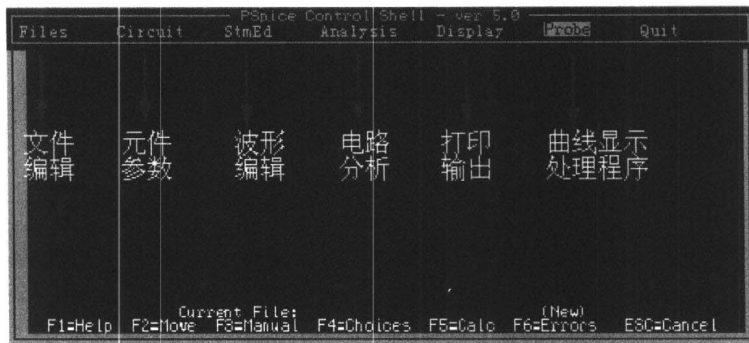


图 2-1 PSpice 控制端口

2.1.2 PSpice 的安装与运行

PSpice 的运行环境：基本内存为 640KB，PC 386 以上有协处理器（387），DOS 3.X 以上版本的操作系统。

PSpice 的环境设置：在 C 盘的根目录下建立 config.sys 文件，设置 FILES=20，BUFFERS=20；还可以在 autoexec.bat 文件中用 PATH 命令对库元件目录进行路径设置。

创建 PSpice 目录时，将程序全部复制到 PSpice 目录下，然后运行 setupdev.exe 文件。setupdev 文件包含如下选项：

- 1 改变显示器类型
- 2 添加打印机
- 3 删除打印机
- 4 保存设置
- 0 退出设置程序

选择相应选项，完成硬件设置。

PSpice 包括 4 个基本程序。PSpice1.EXE 是分析程序；PS.EXE 是 PSpice 的人机交互程序，可以方便地在菜单环境下完成各种操作；PARTS.EXE 是参数提取与模型建立程序；PROBE.EXE 是输出波形显示程序，可以显示任意电路节点和支路的波形，它是在 PSpice1.EXE 运行产生的*.dat 数据文件之后运行的。

PSpice 的运行有 3 种方法：

- (1) 运行 PS.EXE，打开控制窗口，在菜单环境下运行。
- (2) 建立批处理文件 PSpice.DAT。执行批处理文件时用下面的格式：

PSpice <输入文件名> [<输出文件名>] [<probe 文件名>]

其中[]内表示可以省略。如果电路描述文件为 TEST.CIR，则下面几种写法是完全等效的：

PSpice	Test		
PSpice	Test.cir		
PSpice	Test.cir	Test	
PSpice	Test.cir	Test.out	Test.dat

PSpice 输入文件的默认扩展名为“.cir”；输出文件扩展名为“.out”；Probe 的数据文件扩展名为“.dat”。如果有特殊要求，设计者可以自行设定与默认名不同的扩展名，但输入文件需要键入全名。

(3) 直接运行 4 个基本执行程序中的 1 个。在修改输入文件后，首先要运行的是 pspice1.exe 文件。如果输入文件 filename.cir 与 pspice1.exe 不在同一目录，还需键入路径。例如：

pspice a: filename cir

2.2 电 路 描 述

PSpice 程序对需分析的电路用特定的格式和电路描述语言进行分析。编辑电路的输入文件扩展名是“.cir”。电路输入文件的格式可以分为 5 个部分。

(1) 标题行 —— 用 “*” 号开始, 后面是电路名称或说明文字。程序自动将第一行默认为标题行, 因此标题行不能省略。

(2) 电路描述 —— 定义电路元器件和设置模型参数。

(3) 分析指令 —— 定义分析类型。

(4) 输出指令 —— 定义输出的方法。

(5) 结束标志 (.END) —— 电路输入文件结束时必须有的标志。

输入文件的第一行可以是任意说明文本, 但不能省略。最后一行必须是 .END 命令。其他各行的顺序是任意的, 对分析结果没有影响。描述语句中, 空格的数量没有要求, 逗号、TAB 符与空格等同。“*” 或 “;” 号后面可以加说明文字, 不参与程序执行。一行描述语句未完, 用 “+” 号接续, 要紧跟前一行。PSpice 输入文件中任何语句的大小写等同, 而在 Spice2 里描述语句只能大写。电路器件描述没有脚标。例如: 在电路输入文件中 V_i , i_l , R_l , V_{CC} 要分别写成 Vi, il, Rl, VCC。

下面先介绍电路输入文件的几种描述语句。

2.2.1 电路描述语句

1. 节点

我们以简单的 RLC 电路来说明节点的规则。RLC 电路如图 2-2 所示。

每个元器件必须连接在两个或两个以上节点之间, 节点序号可以不连续, 0 节点指定为地节点。节点号必须是 0~999 之间的整数。每个节点要连接两个以上元件, 即要在输入文件中至少出现两次。在描述语句中元件名后紧跟连接节点序号, 一般按电流流入元件方向排列节点顺序。

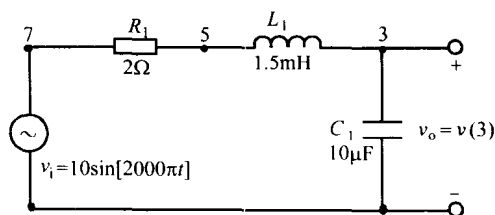


图 2-2 RLC 电路

特别要注意, 所有节点对地要有直流通路, 否则程序提示语句错误。在大电阻和大电容回路里, 这一条件常常不能满足。

2. 元件单位名称

元件节点后跟随元件值。元件值有两个后缀, 前一个为数量级后缀, 后一个为单位后缀。

数量级后缀全为大写, PSpice 规定了以下 10 种比例因子:

$$F=1 \times 10^{-15}$$

$$P=1 \times 10^{-12}$$

$$N=1 \times 10^{-9}$$

$$U=1 \times 10^{-6}$$

$$MIL=25.4 \times 10^{-6}$$

$$M=1 \times 10^{-3}$$

$$K=1 \times 10^3$$

$$MEG=1 \times 10^6$$

$$G=1 \times 10^9$$

$$T=1 \times 10^{12}$$

如果不加数量后缀，PSpice 可识别下面情形。

5 5. 5.0 5E+3 5.0E+3 5.E3

对于单位后缀，PSpice 规定如下：

V=volt	A=amp	HZ=hertz	OHM=ohm
H=henry	F=farad	DEG=degree	

单位后缀可以忽略。例如：电感值是 $15\mu\text{H}$ ，可以写做“15u”或“15UH”。

3. 电路元件描述

电路元件和电源用名称的第一个字母作为标志（关键字），元件名字长可以有 8 位字母，关键字字母按顺序排列如下：

B GaAs MES 场效应管	C 电容
D 二极管	E 电压控制电压源
F 电流控制电流源	G 电压控制电流源
H 电流控制电压源	I 独立电流源
J JFET 结型场效应管	K 互感
L 电感	M MOS 场效应管
N 数字输入信号	O 数字输出信号
Q 双极型三极管	R 电阻
S 电压控制开关	T 传输线
U 数字器件	V 独立电压源

无源器件描述语句格式为

<元件名> <正节点> <负节点> <元件值> <元件模型名或参数>

例如，假设电流从正节点流向负节点，图 2-2 电路中元件描述语句如下：

R1	7	5	2	; 2 Ω 电阻
L1	5	3	1.5MH	; 1.5mH 电感
C1	3	0	10UF	; 10 μF 电容

上面三个元件的参数忽略了。元件参数以及由各种参数构成的模型（Model）在后面的章节予以讲述。

4. 电源描述

PSpice 将电源分为两大类：独立源和受控源。

独立源描述语句的格式为

<电源名称> N+ N- [DC<直流值>][AC<<幅值><相位>>][<瞬时值>][模型名和参数]

其中 N+ 为电压正节点，N- 为电压负节点，N+ 电位必须高于 N-，正电流从 N+ 流向 N-。语句中 DC、AC 和瞬态值的默认值为 0。在直流分析时，要设置 DC 值；在交流分析时，要设置 AC 值，其相位值如省略则为 0；在进行时域分析时，可以设置随时间变化的电源，如脉冲源、指数电源、正弦波等。

将电压源数值设为 0，可以作为电流表接入电路中，用以测量支路电流。这是由于零值电压源相当于短路，对电路工作没有影响。

典型电源描述语句举例如下：

```
VIN 20 40 DC 2 AC 1 30 SIN (0 2V 10KHZ)
VPULSE 10 0 PULSE (0 1 2NS 2NS 2NS 50US 100US)
IIN 20 10 AC 1A 45DEG
IPULSE 10 0 PULSE (0 1 2N 2N 2N 50N 100N)
```

4 种受控源模型如图 2-3 所示。其中 NC+, NC- 为控制电压、控制电流正负节点，N+, N- 为受控源输出节点。受控源描述语句的格式为

<源名称> N+ N- NC+ NC- <增益值>

其中“增益值”为电压、电流增益或转移阻抗、转移导纳。多项式受控源描述语句的格式为

<源名称> N+ N- [POLY(维数)(<NC+><NC->控制节点对)<多项式系数>]

多项式受控源的控制节点数是维数的 2 倍，特定节点可以出现多次，控制节点和输出节点可以相同。

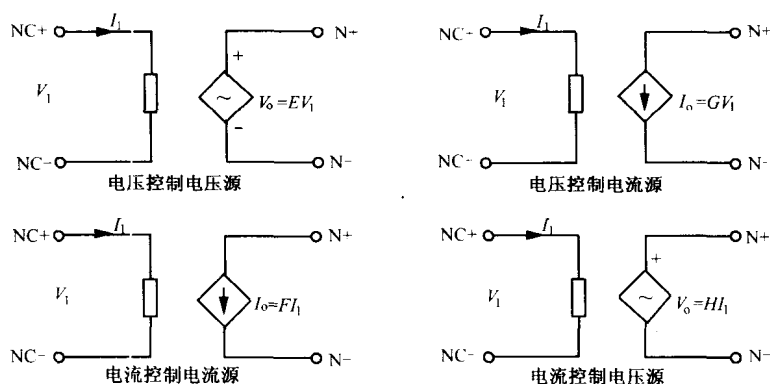


图 2-3 4 种受控源模型

例如，

```
ENONLIN 25 40 POLY(2) 3 0 5 0 0.0 1.0 1.5 1.2 1.7
```

描述的是由 V(3), V(5) 两个电压控制的节点 25 与 40 之间输出的多项式电压源：

$$Y = V(3) + 1.5V(5) + 1.2[V(3)]^2 + 1.7V(3)V(5)$$

又如，

```
G2 10 12 POLY 5 0 0.0 1.0 1.5 1.2 1.7
```

描述的是由节点 5 与地之间电压控制的节点 10 与 20 之间电流的输出多项式：

$$I = V(5) + 1.5[V(5)]^2 + 1.2[V(5)]^3 + 1.7[V(5)]^4$$