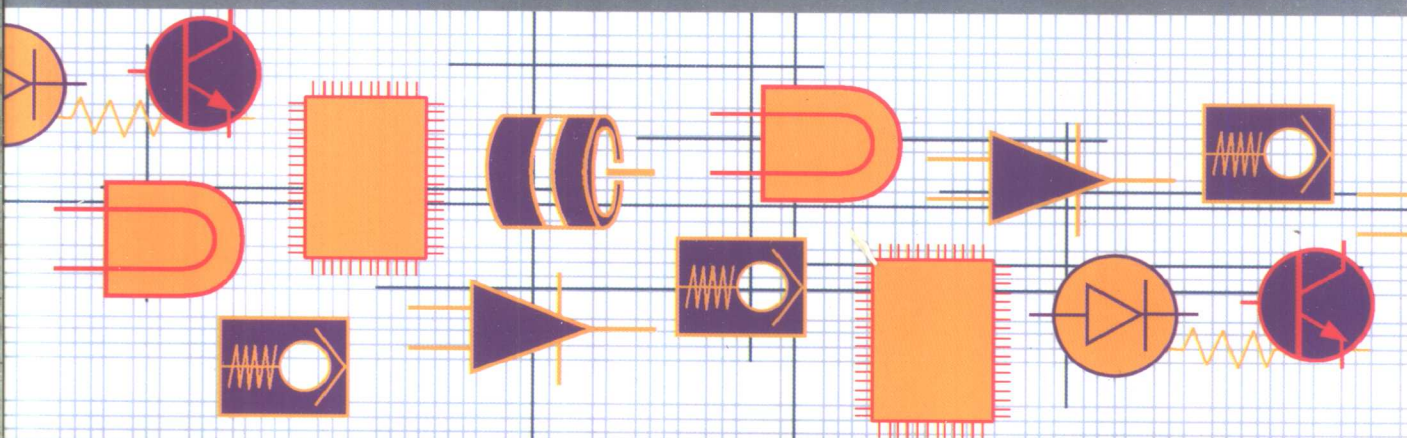


PSpice

仿真实践

吴建强 主编
杨世彦 主审



哈尔滨工业大学出版社

PSpice 仿真实践

吴建强 主编

李晓颖 曲杰琳 参编

杨世彦 主审

哈尔滨工业大学出版社

哈尔滨

内 容 提 要

本书介绍目前国内外广为流行的电子电路仿真分析软件 PSpice 的仿真分析方法, 并通过大量的实例说明 PSpice 软件应用技术。全书共分五章, 主要内容有: 进入 PSpice; 电路结构的描述; 电路仿真分析及其分析结果的输出; PSpice 仿真实践; 数字电路的仿真分析。

本书可作为工科高等院校有关专业学生或研究生的教材和参考书, 也可作为从事电子电路与系统设计的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

PSpice 仿真实践/吴建强主编.—哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2001.4

ISBN 7-5603-1558-5

I.P... II.吴... III.电子电路—计算机辅助设计—应用软件, PSpice IV.TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000) 第 48493 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006
传 真 0451-6414749
印 刷 地矿部黑龙江测绘印制中心印刷厂
开 本 787×960 1/16 印张 12.25 字数 235 千字
版 次 2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5603-1558-5/TM·28
印 数 1~5 000
定 价 18.00 元

前 言

随着计算机技术的迅猛发展,电子电路的分析与设计方法发生了重大变革,计算机电子电路仿真技术改变了以定量估算和电路实验为基础的传统设计方法。其中以 PSpice 为代表的优秀电路仿真软件使得电气技术人员在电路的分析和设计上节省了大量的时间和资金,因此,计算机电路仿真分析方法已成为当今电子电路分析和设计人员应熟练掌握的基本技能。

PSpice 电路仿真软件在国外是一种非常流行的软件。在大学里,它是工科类学生必须掌握的分析与设计电路的工具;在公司和企业中,它是产品从设计、试验到定型过程中不可缺少的设计伙伴。PSpice 有软件实验室的美誉。

PSpice 电路仿真软件现已被国内的高校师生、科研院所的科技人员所重视,国内的一些高等院校已将 PSpice 引入教学。目前,虽有一些关于 PSpice 的技术图书出版,但多数都是类似手册的书籍,重点不突出,使得初学者难以理解。这给一些同学和工程技术人员,尤其是急于掌握 PSpice 的人们尽快入门带来一定的困难。

哈尔滨工业大学电气工程系电工学教研室和哈尔滨工程大学电子工程系电子中心自 1997 年向本科生和硕士研究生开出了 PSpice 仿真的课程,经过几年的教学实践,编写了这本教材。本书的特点是,从对电路结构的描述,电路分析类型和分析过程的确定,以及如何得到分析结果一步步地进行阐述,使读者毫不费力地掌握 PSpice 仿真分析的方法和过程,尤其通过大量各种电路分析的实例,使读者对使用计算机仿真分析这一新的电路分析和设计工具有一个大的突破。

本书共分五章,其中哈尔滨工业大学吴建强执笔第一章、第五章;哈尔滨工程大学李晓颖执笔第三章、第四章;哈尔滨工程大学曲杰琳执笔第二章和全部附录,全书由吴建强统稿。本书由哈尔滨工业大学电气工程系的杨世彦审定,对此编者表示衷心的感谢。

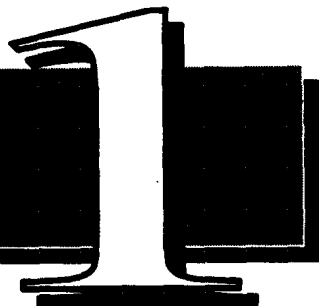
尽管作者写作态度严肃、认真,但由于水平所限,疏漏和不当之处在所难免,诚心敬请读者批评指正。

作者

2001 年 2 月于哈尔滨

目 录

第一章 进入 PSpice	1
1.1 什么是 PSpice	2
1.2 一个电路的 PSpice 仿真分析	4
第二章 电路结构的描述	20
2.1 电路结构描述的格式和规定	21
2.2 元器件、电源和信号源描述语句	24
2.3 元器件模型、子电路和元器件库	46
第三章 电路仿真分析及其分析结果的输出	55
3.1 电路的直流分析(DC 分析)	56
3.2 电路的交流分析(AC 分析)	63
3.3 电路的暂态分析(TRAN 分析)	66
3.4 电路的统计分析	69
3.5 电路分析结果输出语句	73
3.6 其他一些常用语句命令	80
第四章 PSpice 仿真实践	86
4.1 直流电路仿真分析	87
4.2 交流电路仿真分析	92
4.3 电路的暂态仿真分析	106
4.4 模拟电子电路的仿真分析	116
第五章 数字电路的仿真分析	139
5.1 数字器件的描述	140
5.2 数字电路仿真分析	162
附录	179
附录 A 元器件模型参数	179
附录 B 模型类型关键词	186
附录 C 常见错误提示	187
参考文献	188



PSpice 软件是个通用的电路分析程序，它可以仿真和计算电路的性能。PSpice 软件是可以在个人计算机上运行，被国内外技术人员、专家、学者公认为是通用电路计算机仿真程序中最优秀的软件。由于该软件提供了丰富的元件库，使得各种常用元器件随手可得，在软件上我们可以搭接任何模拟和数字电路。该软件使用的编程语言简单易学，对电路的计算和仿真快速而准确，强大的图形后处理程序可以将电路中的各电量都以图形的方式显示在计算机的屏幕上，就像一个多功能、多窗口的示波器一样。

在对所设计的电路硬件实现之前，可先将该电路输入 PSpice，对于不同输入状态，对该电路进行时间响应、频率响应、噪声和其他有关信息的仿真分析和优化，以使所设计的电路具有优秀的性能指标。

本章我们将通过对一个例子电路的仿真分析，使读者对 PSpice 有一个初步的认识，对一个通用电路仿真器的工作过程有一个大致的了解，借此作为学习 PSpice 入门的一个向导。

进入 PSpice

1.1 什么是 PSpice

SPICE 是由美国加利福尼亚大学伯克利分校 (University of California ,at Berkeley) 在 1972 年完成的通用电路分析程序。SPICE 是这个程序 (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) 的缩写。自从这个程序问世以来, 由于它的强大的功能, 在全世界的电工、电子工程界得到了广泛的应用。在大学里, 它是工科类学生必会的分析与设计电路的工具; 在科研开发部门, 它是产品从设计、试验到定型过程中不可缺少的工具。此后 SPICE 的版本不断更新, 功能不断完善, 在 1988 年 SPICE 已定为美国国家工业标准。

PSpice 是 SPICE 家族中的一员, 是 Microsim 公司 1984 年推出的基于 SPICE 程序的个人计算机 (PC 机) 版本, 这样一来, 使 SPICE 软件不仅可以在大型计算机上运行, 而且也可在 PC 机上运行了。

对于一个电路设计而言, 在还没有建立起硬件电路之前, PSpice 可以帮助我们运行和分析我们的电路设计, 从而帮助我们发现电路的设计是否合理, 是否需要变更, 最终得到一个合理优化的电路设计。它就像一块带有各种元件的软件面包板, 在上面可以搭接各种电路, 并可调试和测试这些电路, 最奇妙的是做这些工作我们无须接触任何硬件! 这样为我们节省了大量的时间和资金。

PSpice 可以为我们做以下工作:

■ 直流分析

静态工作点分析 .OP

变量扫描分析 .DC

灵敏度分析 .SENS

传递函数分析 .TF

■ 交流分析

频率扫描分析 .AC

噪声分析 .NOISE

■ 瞬态分析

时间扫描分析	.TRAN
傅立叶分析	.FOUR

■ 参数分析

参数扫描分析	.STEP
--------	-------

■ 统计分析

蒙特卡罗分析	.MC
最坏情况分析	.WCASE

此外，PSpice 还建立了良好的人机界面。无论是 DOS 版还是 WINDOWS 版，对输入、输出及各个仿真过程都提供了很方便的工具。

利用 PSpice 中的图形编辑器可以对模拟信号波形和数字信号波形进行编辑，就好像拥有多台函数信号发生器一样。

图形后处理程序（Probe）的使用，使我们十分方便地得到图形方式的分析结果，Probe 是集万用表、示波器和扫频仪等于一体的软件仪器。

在 PSpice 的器件模型库里有大量器件的模型参数及电路的宏模型参数。目前，在工业版的 PSpice 中的模拟器件库中有超过 1 万多个不同类型的各种模拟器件，有各种二极管、晶体管和场效应管，功率 MOSFET、运算放大器、光隔离器件、磁芯、模/数接口电路、石英晶体振荡器等。PSpice 具有数字电路仿真和数模混合仿真分析的能力，所以它还有各种 TTL 和 CMOS 数字电路的数字器件模型库。用 LIB 语句可非常方便地调用这些器件。这些器件的模型参数都是由世界各国的半导体元器件公司所提供的，从而使 PSpice 软件的仿真结果更真实可信。

PSpice 对计算机的要求并不高，各种版本的 PSpice 在一般的 486、586 个人计算机上都能很好地运行。只是当所要仿真的电路较大、较复杂时，需扩展计算机的内存量而已。

下面，我们将根据一个具体电路例子，来看一下 PSpice 仿真分析一个电路的全过程，作为我们进入 PSpice 的向导，使我们对 PSpice 有一个大概的认识。

1.2 一个电路的 PSpice 仿真分析

在系统地学习 PSpice 的各种复杂的描述和分析语句以及 PSpice 仿真器界面操作以前, 读者往往希望尽快地管窥一下 PSpice 的庐山真面目, 期望以此作为向导尽快地进入 PSpice。一个例子虽然不能全面表现出 PSpice 的全部功能和特点, 但它却能向读者展示 PSpice 的一些主要特色, 以使读者对 PSpice 的工作过程有一个全面的了解; 对后面的一些具体内容的学习, 能够起到阶段、层次定位的效果, 对读者建立起一个清晰的学习路径是有一定帮助的。

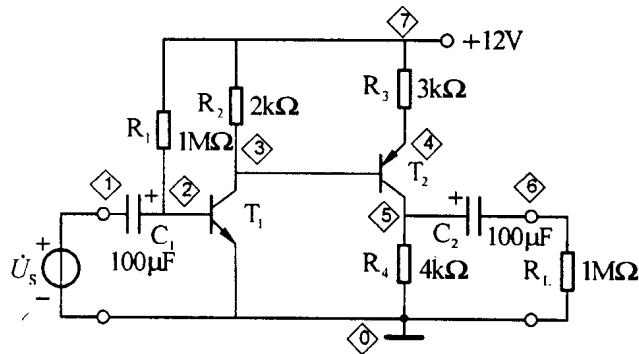


图 1.1 两级晶体管直接耦合放大电路

一、一个例子电路

图 1.1 是一个两级的晶体管直接耦合放大电路, 电路中各元器件的参数如图所示。对于这样一个工作状态下的放大电路, 我们一般想知道当输入信号为零时电路的静态工作点; 当输入端加上一个正弦信号或一个方波信号时, 输出的是一个什么样的信号; 这个放大器的输入电阻和输出电阻有多大; 这个放大器频率特性如何等等。下面我们将在 PSpice 仿真器上来运行这个放大电路并得出仿真分析结果。

对于这样的—个电路, 如果想要应用 PSpice 进行仿真分析的话, 摆在我们面前的一定有这样几个问题需要解决, 即:

- 将电路变成 PSpice 能够认识、接受的形式;

- 告诉 PSpice 做些什么；
- 如何运行 PSpice 软件进行仿真分析；
- 怎样观察仿真分析的结果。

下面我们将逐步解决这几个问题。解决这几个问题的过程实际上也就是 PSpice 仿真分析的主要步骤。

二、输入文件（或称电路文件）

要想将一个电路送入 PSpice 仿真器中去，并告诉它应当做些什么，首先应编写输入文件，或称电路文件（Circuit File）。

编写输入文件的目的是有三个：一是描述电路具体的拓扑结构；二是告诉 PSpice 对电路做何种类型的分析；三是以什么样的形式输出分析结果。

对应图 1.1 的例子电路，我们按 PSpice 所要求的输入文件格式编写出输入文件，为了说明方便，输入文件的每一行都加上了行号，但在实际输入的情况下，是没有行号的。输入文件如下：

```

1 Amplifier Circuit
2 vs 1 0 ac 1mv sin(0,1mv,1kHz)
3 r1 7 2 1megohm
4 r2 7 3 2kohm
5 r3 7 4 3kohm
6 r4 5 0 4kohm
7 rl 6 0 1megohm
8 c1 1 2 100uf
9 c2 5 6 100uf
10 q1 3 2 0 q2n2222a
11 q2 5 3 4 q2n2907a
12 vc 7 0 12v
13 .tran 100us 5ms 0 10us
14 .ac dec 10 1hz 10meghz
15 .op

```

电路结构及元器件
参数的描述语句

仿真分析语句

第一章 进入 PSpice

```
16 .print ac v(6)
17 .lib      eval.lib
18 .end
```

仿真结果输出语句

现在我们来解释输入文件。PSpice 输入文件的语句格式规定输入文件的第一行必须为标题行。这一行用来说明该输入文件的名称，以便识别和记忆。

电路的描述语句从第二行开始。在这个例子里，电路拓扑结构以及电路元器件和参数的描述部分为 2~12 行。在电路中的所有电路元器件和电源都连接在电路的各节点上，并且电路中的每个节点都编有节点号码。接地点的节点编号为“0”。PSpice 规定节点的编号必须为整数，且在节点的编号中必须有“0”号节点。也就是说，每个电路文件必须有“地”节点，这个节点就是整个电路的参考点。此外，在电路文件中的每个节点必须有到“地”的直流通路，这是 PSpice 算法的需要。我们对图 1.1 所示电路的每一个节点都编了号，根据图 1.1，我们不难看出输入文件中电路拓扑结构以及电路元件和参数的描述部分的编写规律了（有关内容将在第二章详细介绍）。

输入文件 13~15 行的语句是仿真分析语句（或称命令语句），它们的作用是告诉 PSpice 进行何种类型的仿真分析，怎样进行分析。在这个例子中，第 13 行语句为：

```
13 .tran 100us 5ms 0 10us
```

这条语句是要求 PSpice 对电路作暂态分析（时域分析）。分析的时间为 5ms，每隔 100 μ s 输出一个分析数据，分析计算步长为 10 μ s。在 PSpice 中，一般以英文字母 u 来表示希腊 μ 。

第 14 行语句为：

```
14 .ac dec 10 1hz 10meghz
```

这条语句是要求 PSpice 对电路作交流分析（频域分析）。要求信号源的频率按 10 倍频程的规律进行扫描，每 10 倍频程有 10 个扫描数据点，扫描频率 1Hz~1MHz。

第 15 行语句为：

```
15 .op
```

这条语句是要求 PSpice 对电路作静态工作点分析，从而得出电路所有节点

的电压值，独立电源的电流和功耗，半导体管的直流工作参数等。

输入文件的第 16 行语句为仿真结果数据输出语句。当前行的这条语句是要求 PSpice 打印输出交流分析 (.AC) 下节点 6 的电位值。

输入文件的第 17 行语句为调用库文件语句 (.lib)。由于在例子电路中使用了两个晶体管 q2n2222a 和 q2n2907a，所以必须使用调用库文件语句.lib 从名为 eval.lib 的器件库中调出这两个晶体管的模型参数。

输入文件的第 18 行语句为输入文件结束语句 (.end)。读者必须注意，在输入文件中，这条语句是必不可少的。

细心的读者可能发现，输入文件的语句有两种类型：一种是在语句的最前面有个“.”；另一种语句的最前面则没有“.”。所以，当读者在计算机上敲入输入文件时，对于有“.”的语句一定不要忘记这个“.”。

另外，PSpice 对输入的英文字母没有大小写的限制。

三、运行 PSpice

当前流行的 PSpice 有许多版本，主要有 DOS 版和 WINDOWS 版两大类。WINDOWS 版的 PSpice 是工作在“图形操作环境”下的软件系统，其操作环境比 DOS 操作环境有更多的优越性。但是我们认为对于初学者来说，学习 DOS 版的 PSpice 比学习 WINDOWS 版的 PSpice 更便于理解 PSpice 的实质和内涵以及更深层次的内容。在掌握了 DOS 版的 PSpice 以后，再学习和掌握 WINDOWS 版的 PSpice 那便是轻车熟路了。

在本书中，我们采用 DOS 操作系统下 PSpice 5.3 教育版作为教学软件。这个版本的 PSpice 软件对计算机的要求不高，在 386、486、586 个人计算机上均能很好运行。PSpice 教育版是美国 Microsim 公司用来推销该公司的产品、减少了部分功能的一种版本。PSpice 5.3 教育版上写着：

Evaluation Version:

Copying of this program is welcomed and encouraged

由此可见 Microsim 公司对免费使用 PSpice 教育版软件是持欢迎和鼓励态度的。在国外，教育版在大学中十分流行，是学生学习电工、电子技术以及其他电类课程的好帮手。在主要的功能上，PSpice 教育版同 PSpice 的完全版(Full

第一章 进入 PSpice

Version of PSpice) 没有多少不同, 它们之间的区别仅在于:

1. 在 PSpice 5.3 教育版中, 仿真电路不能超过 64 个节点, 仿真电路中的有源器件不能超过 10 个, 在电路中只能使用两个运算放大器。而 PSpice 完全版 (又称工业版) 对运行电路的规模的限制只同计算机的内存量有关, 即:

有源器件的最大数目 $\approx 400 \times [\text{内存量 (以兆为单位)}]$

由此可见, 计算机的内存越大, 能仿真的电路就越大、越复杂。

2. PSpice 5.3 教育版只有一个器件库 (库文件名为: eval.lib), 而 PSpice 完全版有超过 1 万多种元器件的多个器件库。

3. 在 PSpice 5.3 教育版中, 元器件模型提取程序 Parts 和信号源编辑程序 StmEd 只有部分功能能够使用。

由于本书是 PSpice 的教学用书, 书中涉及的电路规模都不是很大, 故使用 PSpice 5.3 教育版完全能够应付得来, 且又不涉及软件使用的版权问题。如果读者将来在实际仿真中电路的规模较大, 改用完全版的 PSpice 时, 在软件的使用上同教育版是相同的, 不会感到有什么不便。

现在我们开始运行 PSpice 仿真软件。首先进入 PSpice 子目录, 当屏幕出现 C:\>PSEVAL53 时, 键入 PS, 这时, 屏幕上出现了 PSpice 的菜单管理窗口,

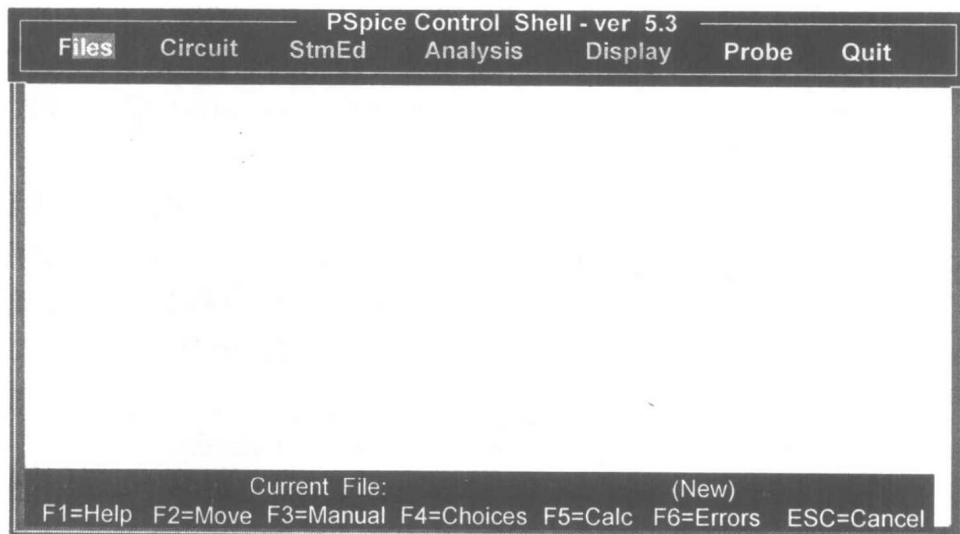


图 1.2 PSpice 菜单管理窗口

1.2 一个电路的 PSpice 仿真分析

如图 1.2 所示。窗口的底部显示出一组功能键的功能说明，窗口的上部显示水

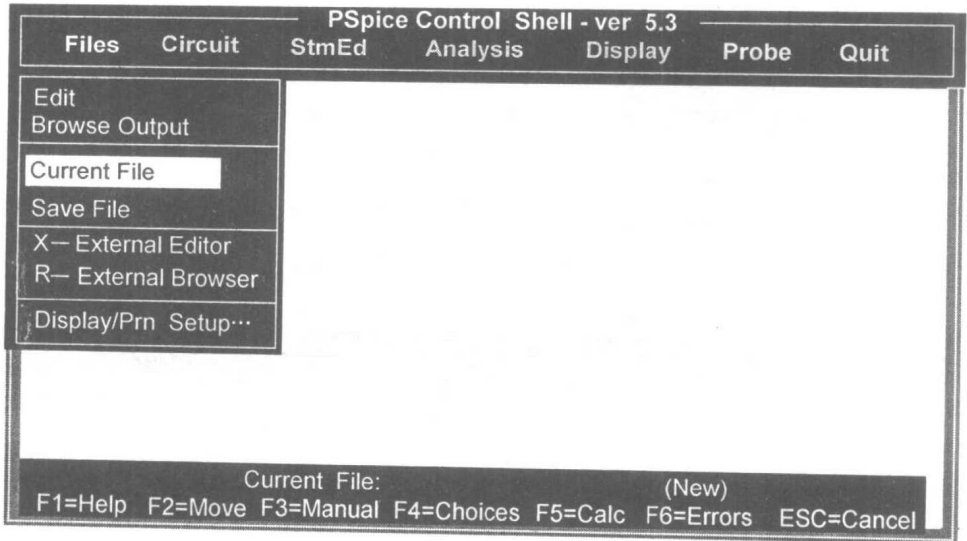


图 1.3 Files 的子菜单

平排列的各主菜单项，此时主菜单中的 Files（文件）被一矩形斑块所点亮，这表示该菜单项被选中。敲键盘上的回车键，Files 中的子菜单将显示出可供选择的项目，如图 1.3 所示。

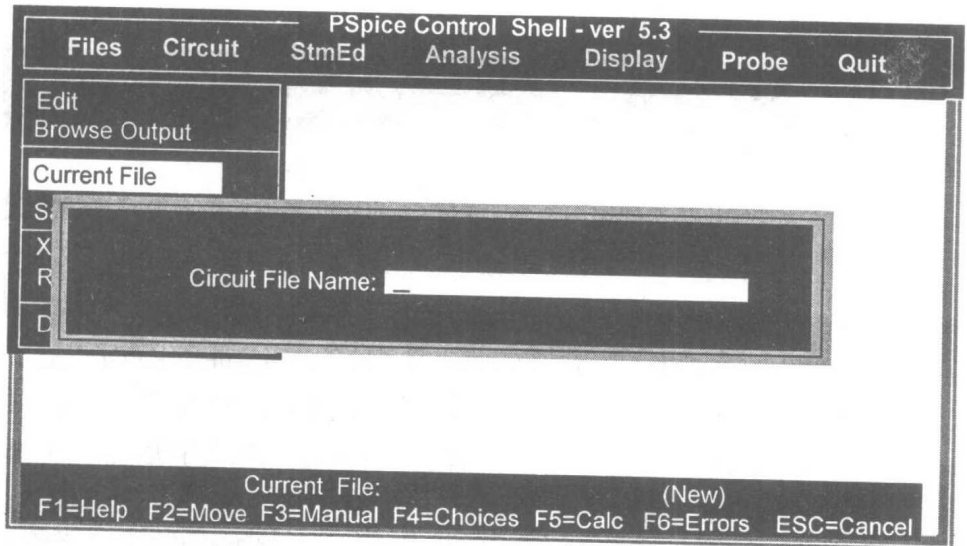


图 1.4 输入电路文件名对话框

第一章 进入 PSpice

用键盘上的上下箭头键（↑↓）选中 Current File（当前文件），按回车键，这时窗口出现输入电路文件名对话框（见图 1.4）。在其空白处键入输入电路文件名 Amplifier.cir（这个文件名可任意起），输入电路文件名同电路文件标题名可以不同名。输入电路文件名的后缀为 cir，这个后缀如果没加上的话，PSpice 运行时，将自动把这个后缀加上。

在将输入电路文件名键入文件名对话框以后，按回车键，这时屏幕又回到 PSpice 菜单管理窗口。在 Files 主菜单下选中 Edit 项后，敲回车键，在屏幕上出现电路文件编辑窗口如图 1.5 所示。

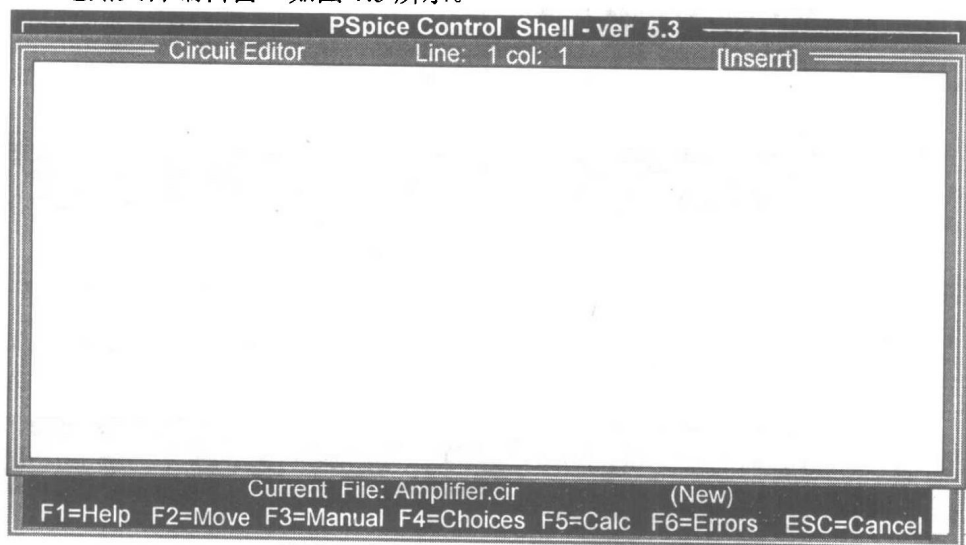


图 1.5 电路文件编辑窗口

在电路文件编辑窗口，我们将前面已经编完的电路文件逐行键入，注意不能有空行，每一行语句必须紧靠右边栏，在右边栏和语句的第一个字母间不能有空格。在该窗口下进行全屏幕编辑和修改电路输入文件。如何对文件进行编辑，按 F1 键弹出帮助窗口就一目了然了。当全屏幕编辑完成后，按 ESC 键退出电路文件编辑窗口（Edit 窗口）。此时在屏幕上出现一个对话框，提示你将输入的电路文件存储起来。选中 S（Save）后按回车键，又回到 PSpice 菜单管理窗口下。

如果输入电路文件没有任何错误的话，这时你将发现菜单管理窗口上方一直为灰色的 Circuit、StmEd、Analysis、Display 主菜单项被点亮，这意味着这

1.2 一个电路的 PSpice 仿真分析

些菜单项可以被打开了。如果上述菜单项仍为灰色，说明输入电路文件有错误存在，按 F6 键查看是什么错误，接着再返回编辑窗口进行修改，直到没有错为止。

在 PSpice 菜单管理窗口下用箭头键（→←）选中 Probe 项，按回车键弹出该项的子菜单，选中自动运行 Probe（Auto-run...）后按 ESC 键回到 PSpice 菜单管理窗口。

在 PSpice 菜单管理窗口下用箭头键（→←）选中 Analysis 项，按回车键弹出子菜单，选中运行 PSpice（Run PSpice）后敲回车键，这时屏幕变成黑屏，装入电路文件，并且开始运行仿真程序。接着屏幕不断变换内容，其含义读者不难理解，最后屏幕稳定下来，并显示如图 1.6 所示的 Probe 分析类型选择菜

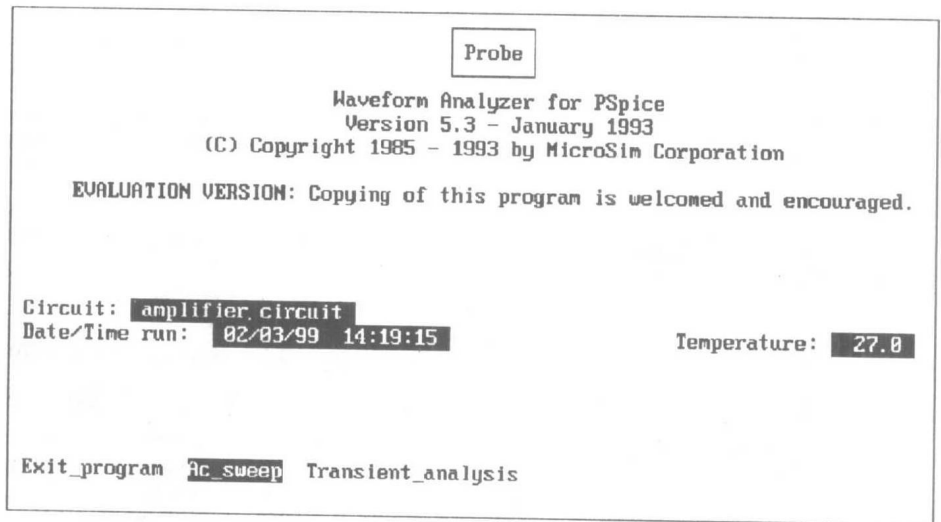


图 1.6 分析类型选择菜单窗口

单。屏幕底部有三个选择项：退出程序（Exit_program）；交流扫描分析（Ac_sweep）；暂态分析（Transient_analysis）。用键盘上的箭头键可以进行选择，我们选择 Transient_analysis，按回车键，屏幕显示出 Probe（PSpice 的图形后处理程序，称为软件示波器）的菜单及图形显示窗口如图 1.7 所示。

在 Probe 菜单图的底部是 Probe 的各功能选项，这些菜单项的选择，同样是利用箭头键和回车键进行选择 and 选定。在这里我们选择 Add_trace 项，该项选择称加曲线轨迹，它的作用类似示波器的波形图，我们可以通过它以图形形

第一章 进入 PSpice

式观察电路仿真分析结果。按回车键后，屏幕底部出现一行字：

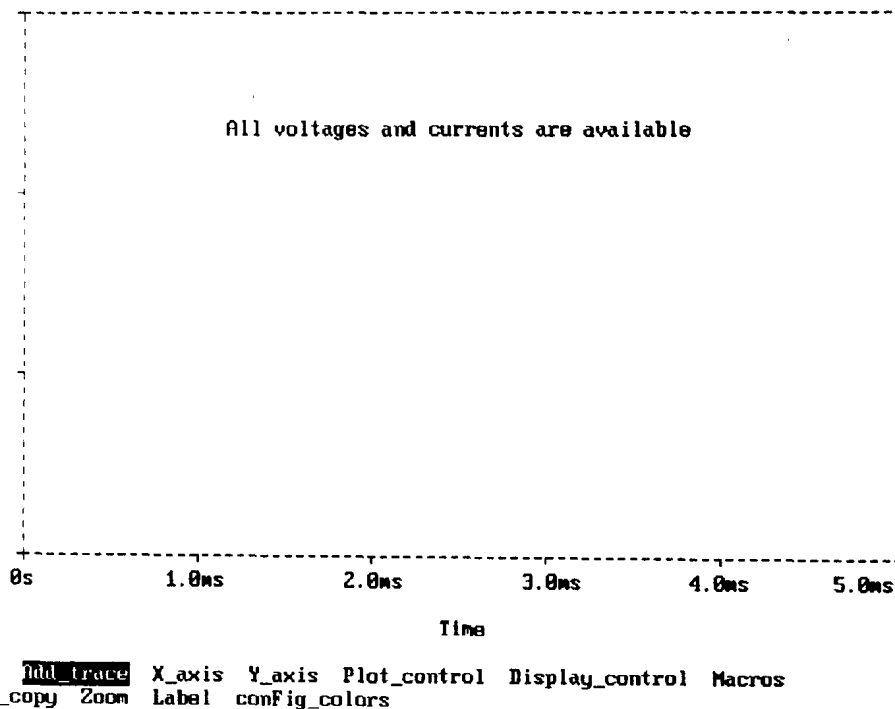


图 1.7 Probe 主菜单及图形显示窗口

Enter variables or expressions (press F4 to select variables from list):

按此提示敲一下 F4 键，这时屏幕变成输出变量选择界面如图 1.8 所示。在屏

Variable Names						
I(r3)	V(3)	I(c1)	I(r3)	I(vc)	IS(q1)	IS(q2)
V(1)	V(4)	I(c2)	I(r4)	IC(q1)	IC(q2)	
V(7)	V(5)	I(r1)	I(r1)	IR(q1)	IR(q2)	
V(2)	V(6)	I(r2)	I(v5)	IE(q1)	IE(q2)	

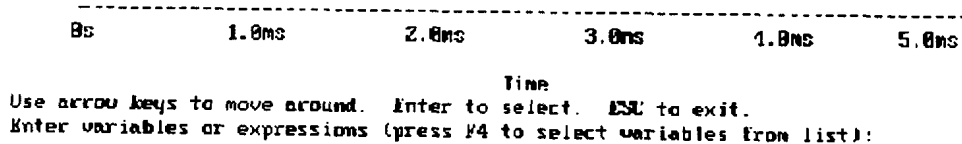


图 1.8 输出变量选择界面