

高等职业教育教材



电子线路计算机 辅助分析与设计

天津市高等教育自学考试委员会 组编

赵雅兴 主编

天津大学出版社

高等职业教育教材

电子线路 计算机辅助分析与设计

天津市高等教育自学考试委员会 组编

赵雅兴 主编

天津大学出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了电子线路计算机辅助分析与设计中常用的 PSpice 模拟器的实际应用,详尽叙述了各类元件、器件、模拟集成电路与数字集成电路的 PSpice 作业文本文件中描述语句的书写方法,对于常用控制命令(即点命令)、模拟信号源和数字信号源以及 PSpice 模拟器的使用技巧也都做了详尽的说明,并列举了大量的例题和习题。

本书可作为高等院校有关专业选修课教材或教学参考书,也可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路计算机辅助分析与设计/赵雅兴主编. —天津:
天津大学出版社, 2001. 9
ISBN 7-5618-1476-3

I. 电… II. 赵… III. ①电子线路—计算机辅助电路
分析②电子线路—计算机辅助设计 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 045924 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨风和
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
印 刷 河北省永清县印刷厂
经 销 全国各地新华书店
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 13.25
字 数 325 千
版 次 2001 年 9 月第 1 版
印 次 2001 年 9 月第 1 次
印 数 1—5 000
定 价 17.00 元

高等职业教育教材编审委员会名单

主任委员:乔丽娟

委 员:(以姓氏笔画为序)

丁桂芝 王松岭 边奠英 刘凤桐

李占伦 李维祥 吴功宜 陈家修

赵雅兴 徐宝强 徐娟敏 高希庚

葛洪贵

序

全国高等教育自学考试指导委员会副主任

王明达

中国职业技术教育学会副会长

中国高等教育大众化目标的实现必然伴随着高等教育形式和结构多样化的变革。单纯以学术水平为追求目标的高等教育无法满足社会对于多种专门人才的需求。因此要大力发展高等职业教育,培养社会需要的各类专门人才,以适应我国经济和社会发展的要求。

什么是高等职业教育?职业教育的特征不在于办学形式,主要体现在培养目标上。培养生产、服务、管理第一线的实用人才的教育即为职业教育。按照专业所需接受教育的年限达到相当于普通高等教育学习年限的职业教育即为高等职业教育。

高等职业教育如何实现培养实用人才的目标?首要的就是专业设置。既然培养的是生产第一线的实用人才,所设专业就一定是直接与社会生产、生活相联系的,是社会生产、生活中最必需的。这与普通高等学校开设专业的思路有着本质的区别。其次是教学内容的安排和教学计划的制定。接受高等职业教育的学生的学习内容必须是成熟的技术和管理规范,教学计划、课程设置应该按照职业岗位群的职业能力要求来确定,而不应从学科体系出发。再次,为使学生毕业就能基本顶岗工作,要求增大实习训练所占的比例,在校期间就基本完成上岗前的实践训练。为了保证实践训练得到社会认可,要实行学历证书与职业资格证书“双证书”制度,同时要求双师型教师任教。只有按部就班实现以上要求的高等职业教育才会被社会认同,也才会有生命力。

办出特色是高等职业教育生命力的源泉。学生毕业即能顶岗是职业教育区别于其他教育的一个突出特点。要想做到这一点,一方面学习理论知识要以必需和够用为度,让学生掌握基本理论和知识;一方面要多方面开辟实习基地,保证充足的实训时间。高等职业教育的水准主要是通过专业设置、课程内容以及实训能力的培养体现的。

为落实第三次全教会“完善自学考试制度、大力发展高等职业教育”的改革思路,1999年全国高等教育自学考试指导委员会决定在天津市开展高等教育自学考试职业技术专业的试验工作。天津市高等教育自学考试委员会在深入调查研究

的基础上,从职业岗位群的技能需求出发,以能力本位教育(CBE)为理论依托,设计了12个职业技术专业,于2000年面向社会开考。

高等教育自学考试开考职业技术专业的试验在完善高等教育自学考试专业建设、拓展自学考试教育功能方面,在探索开放式教育培养应用型高级人才方面,在职业教育课程体系建设方面,在教育与产业的有机结合方面,在构建完整的职业教育体系方面,以及在实践技能考核的研究、管理方面对于我国高等教育自学考试制度的完善和高等职业教育的发展都具有重要意义。

天津市高等教育自学考试委员会将根据职业技术专业试验工作的需要陆续出版有关考试课程的教材。教材编撰者多为具有职业教育经验的学科专家和职业教育专家。他们根据职业教育的专业培养目标重新整合了学科知识体系,尽力体现理论知识必需、够用的原则。当然,由于认识水平的局限和时间的紧迫,这些教材还需要继续完善提高。尽管如此,迈出的这第一步是十分可贵的。我深信,高等教育自学考试职业技术专业的试验工作一定能取得成功。

2001年1月于北京

前言

电子电路发展到今天,已经历了由晶体管分立元件电路到 SSI(小规模集成电路,集成度包括 1~10 个晶体管)、MSI(中规模集成电路,集成度包括 10~100 个晶体管)、LSI(大规模集成电路,集成度包括 100~1000 个晶体管)、VLSI(超大规模集成电路,集成度在 1000 个晶体管以上)和 ULSI(甚大规模集成电路,集成度更高)四个阶段。要分析、设计如此规模的电子电路与系统,必须采用计算机辅助分析与设计(Computer Aided Analysis and Design),即采用 CAA 与 CAD 技术。因此,CAA 与 CAD 技术已成为分析与设计电子电路与系统的关键技术之一。因此,电子电路计算机辅助分析与设计软件也应运而生。由美国加州大学伯克利分校推出的电路分析程序 SPice(Simulation Program with integrated circuit emphasis)自 20 世纪 70 年代问世以来,在世界各国得到了广泛应用,并且版本不断更新,功能不断完善。尤其是自 1984 年由 Microsim 公司推出的基于 SPice 的微机版本 PSpice 以来,采用 PSpice 对电子电路进行计算机辅助分析与设计得到了广泛的普及与应用。目前高版本的 PSpice 不仅可以分析模拟电路,而且也可以分析数字电路和数模混合电路。PSpice 的输入文件不仅有文本文件形式,而且还有图形输入形式。SPice 与 PSpice 已被公认为是通用电路模拟程序中最优秀的软件,具有广泛的应用前景,因此在高等院校中为学生开设 Pspice 的电子电路计算机辅助分析与设计课程是必要的。这可以让学生不必深入追究电子电路计算机辅助分析与设计的理论,把电子电路计算机辅助分析与设计转化为熟练使用 PSpice 对电子电路与系统进行计算机辅助分析与设计上来,让学生从应用方面快速地进入这个领域,并运用于实际的电子电路与系统的设计中。本书正是从这个角度出发,内容力求通俗易懂,便于学习,并给出了大量实例和习题。全书由赵雅兴教授在原出版的“电子线路 PSpice 分析与设计”一书的基础上修改完成。谢恺、谭培育、李晓彤、朱鹏飞、杨勇涛等研究生和赵宇梅同志在修改过程中也做了大量工作,在此表示感谢。

由于作者水平所限,书中会有不妥之处,欢迎对本书提出批评和建议。

作者

2001 年 8 月于天津大学

目 录

第1章 概述	(1)
1.1 节点	(1)
1.2 元件值	(1)
1.3 电路元件	(2)
1.4 元件模型	(3)
1.5 信号源	(3)
1.6 分析类型	(3)
1.7 输出变量	(4)
1.8 PSpice 的输出命令	(4)
1.9 电路文件的格式	(5)
1.10 输出文件的格式	(5)
习题	(9)
第2章 输出变量的定义	(10)
2.1 直流扫描和瞬态分析	(10)
2.2 交流分析	(12)
2.3 噪声分析	(13)
小结	(14)
第3章 电压源和电流源	(15)
3.1 信号源模型	(15)
3.2 独立源	(19)
3.3 受控源	(20)
小结	(23)
习题	(24)
第4章 无源元件	(26)
4.1 引言	(26)
4.2 元件模型	(26)
4.3 工作温度	(27)
4.4 电阻、电感、电容元件	(27)
4.5 磁性元件	(30)
4.6 无损传输线	(34)
4.7 开关	(34)
小结	(37)
习题	(38)
第5章 点命令	(41)

5.1 引言	(41)
5.2 模型	(41)
5.3 输出类型	(43)
5.4 温度语句和电路结束语句	(47)
5.5 OPTIONS(选择项)	(48)
5.6 直流分析	(49)
5.7 交流分析	(56)
5.8 噪声分析	(56)
5.9 瞬态分析	(58)
5.10 傅里叶分析	(61)
5.11 蒙特—卡罗(Monte-Carlo)分析	(63)
5.12 最坏情况分析(.WCASE)	(65)
5.13 通用参数扫描分析(.STEP)	(66)
5.14 参数及表达式定义语句(.PARAM)	(67)
5.15 函数定义语句(.FUNC)	(68)
小结	(69)
习题	(70)
第6章 半导体二极管	(71)
6.1 引言	(71)
6.2 二极管模型	(71)
6.3 二极管语句	(72)
小结	(81)
习题	(81)
第7章 双极结型晶体管(BJTS)	(84)
7.1 引言	(84)
7.2 BJT 模型	(84)
7.3 BJT 语句	(86)
小结	(110)
习题	(110)
第8章 场效应晶体管	(113)
8.1 引言	(113)
8.2 结型场效应管	(113)
8.3 MOS 型场效应管	(123)
8.4 砷化镓场效应管	(134)
小结	(138)
习题	(139)
第9章 模拟集成电路	(141)
9.1 运算放大器电路	(141)
9.2 集成比较器	(155)

9.3 模拟集成乘法器	(159)
习题	(163)
第 10 章 数字集成电路	(167)
10.1 简述	(167)
10.2 数字部件的描述语句	(167)
10.3 数字电路作业输入文件	(174)
10.4 模拟—数字界面	(175)
习题	(183)
第 11 章 PSpice 的应用技巧	(185)
11.1 引言	(185)
11.2 大电路问题	(185)
11.3 运行多个电路	(185)
11.4 大输出	(185)
11.5 长时间的瞬态运行	(186)
11.6 收敛性问题	(186)
11.7 分析精度问题	(189)
11.8 负值元件问题	(189)
11.9 功率开关电路	(190)
11.10 悬空节点	(192)
11.11 少于两个连接的节点	(195)
11.12 电压源和有感回路	(195)
11.13 用 SPice 运行 PSpice 文件	(196)
11.14 用 PSpice 运行 SPice 文件	(196)
11.15 求解非线性振荡器稳态解的加速技术	(196)
习题	(199)
参考文献	(200)

第 1 章 概 述

自从 PC 机版的通用电路模拟软件 PSpice 推出之后,电子线路计算机辅助分析与设计已在电子线路设计人员中得到广泛普及与应用。作为电子线路设计的工程技术人员,不必追究 PSpice 软件的编制过程,只要掌握 PSpice 的各种输入文件的编制方法,尤其是熟练掌握 PSpice 的硬件描述语言,就可以对自己研究的电子线路进行计算机的辅助分析与设计。因此,本书仅从如何应用 PSpice 软件对电子线路进行计算机辅助分析与设计作详细说明。

PSpice 是一个通用的电路分析程序,它可模拟和计算电路的性能。一个电路可以通过电路文件由元件名称、元件值、节点、变量和信号源所确定。例如,若对图 1.1 电路进行分析、计算,并绘出从 0 到 3 ms 内、以 $10\ \mu\text{s}$ 为增量的瞬态响应,需要做到:

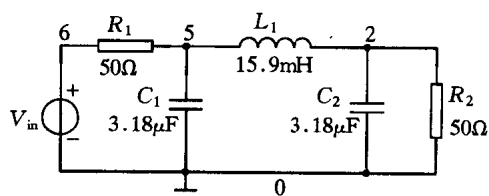


图 1.1 低通滤波器电路

- ①如何为 PSpice 描述这个电路;
- ②如何确定要求的分析(瞬态分析);
- ③如何定义所要求的输出变量。

一个电路的描述和分析需要确定电路元件、节点、元件值、元件模型、信号源、分析类型、输出变量、PSpice 输出命令、电路文件格式、输出文件格式各项。

1.1 节 点

在分析电路之前,首先要对电路的节点进行编号。在图 1.1 电路中,节点标号已注明。节点标号必须为 0~9 999 之间的整数。节点 0 被规定为地节点,其他节点的编号是任意的。PSpice 要求,每个节点至少应连接两个元件,即不能有悬空节点。

为了对电路进行分析,PSpice 规定,每一个节点必须有一条通向地节点的直流通路。这个条件在一些电路中并不一定能够满足,如某些滤波器电路。在这种情况下,通常连接一个非常大的电阻到地,以提供一条直流通路。这个电阻对电路的性能不应有什么影响。

1.2 元件值

在电路文件中,元件值写在与元件相连的节点后面。元件值用标准浮点形式书写,后跟可选的数值比率和(或)单位后缀。PSpice 允许不带后缀的元件值写成如下形式:

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

PSpice 中约定了两种后缀,即比率后缀和单位后缀。比率后缀要乘以它前面的数。PSpice 确认的比率后缀有:

F=1E-15 P=1E-12 N=1E-9 U=1E-6 MIL=25.4E-6 M=1E-3 K=

1E3 MEG=1E6 G=1E9 T=1E12

常用的单位后缀有：

V=伏 A=安 HZ=赫 OHM=欧(Ω) H=亨 F=法 DEG=度

第一个后缀总是比率后缀,然后是单位后缀。如果没有比率后缀,那么头一个后缀就可能是单位后缀。PSpice 总是忽略单位后缀。例如,若电感的值是 $15\mu\text{H}$,就写成 15 U 或 15 UH。在没有比率后缀和单位后缀的情况下,电压、电流、频率、电感、电容和角度的隐含量纲分别为伏、安、赫兹、亨利、法拉和度。由于 PSpice 忽略所有的单位后缀,因此,下列表示是等价的:

25E-3 25.0E-3 25M 25MA 25MV 25MOHM 25MH

几点说明:

①比率后缀都是大写字母;

②M 代表 milli (毫),而不是兆,2 M Ω 应写作 2MEG 或 2MEGOHM。

1.3 电路元件

电路元件由元件名表示。元件名必须按规定的字母开头,随后就可以是数字或字母。元件名可长达 8 个字符。表 1.1 列出元件和信号源的首字母。例如,电容的名字必须以 C 打头。

表 1.1 电路元件和信号源代号

首字母	电路元件或信号源	首字母	电路元件或信号源
B	砷化镓 MES 场效应管	K	互感(变压器)
C	电容	L	电感
D	二极管	M	MOS 型场效应管
E	电压控制的电压源	Q	双极性晶体管
F	电流控制的电流源	R	电阻
G	电压控制的电流源	S	压控开关
H	电流控制的电压源	T	传输线
I	独立电流源	V	独立电压源
J	结型场效应管	W	流控开关

注:流控开关和压控开关在 SPice2 中不能应用,但在 SPice3 和 PSpice 4.02 以上版本中却可以用。

无源元件的描述格式如下:

<element name> <positive node> <negative node> <value>

其中,假定电流从正节点 N+ 流向负节点 N-。对如图 1.1 中的无源元件可按如下方式描述:

R1	6	5	50
C1	5	0	3.18UF
L1	5	2	15.9MH
C2	2	0	3.18UF
R2	2	0	50OHM

1.4 元件模型

一些电路元件值依赖于其他参量,例如电感的初始状态、随电压变化的电容值以及随温度变化的电阻值等。电路元件的各种参数可以通过元件模型给出。确定信号源、有源和无源元件模型的技术将在第3、4、5章介绍。

常用简单正弦信号源的模型可以表示为:

SIN(VO VA FREQ)

其中:VO 和 VA 分别代表偏置电压和幅值电压,单位都是 V;FREQ 是频率,单位是 Hz。对于一个 $V_{in} = 10\sin(2\pi \times 1000t)$ 的正弦电压来说,描述语句为:

SIN(0 10 1KHZ)

1.5 信号源

电压(或电流)源可以是受控源,也可以是独立源。代表信号源的符号也在表 1.1 中列出。一个独立电压(或电流)源可以是直流、正弦、脉冲、指数型、多项式、分段线性或单频 - 调频源。描述信号源的模型将在第 3 章中讨论。

信号源语句的格式为:

<source name> <positive node> <negative node> <source model>

这里假定电流从正极 $N +$ 流向负极 $N -$,节点 $N +$ 和 $N -$ 的顺序是至关重要的。设节点 6 比节点 0 有更高的电位,那么上述连接在节点 6 和节点 0 之间的输入信号源 V_{in} 的描述语句为:

VIN 6 0 SIN (0 10 1KHZ)

1.6 分析类型

PSpice 可进行不同类型的分析,如直流分析、瞬态分析以及交流分析等。每一种分析都是由电路文件中的命令语句决定的。例如,一个以 .DC 命令开始的语句将进行直流扫描分析。分析类型以及与它们相关的命令语句如下。

1. 直流分析

输(入电压/电流源,模型参数或温度的直流扫描(.DC)

线性化器件模型参数的确定(.OP)

小信号传输函数(戴维宁等效电路)(.TF)

直流工作点(.OP)

小信号灵敏度(.SENS)

蒙特-卡罗分析(.MC)

最坏情况分析(.WCASE)

2. 瞬态分析

时域响应(.TRAN)

傅里叶分析(.FOUR)
蒙特—卡罗分析(.MC)
最坏情况分析(.WCASE)

3. 交流分析

小信号频率响应(.AC)
噪声分析(.NOISE)
蒙特—卡罗分析(.MC)
最坏情况分析(.WCASE)

应该指出的是,点是命令语句的组成部分。第5章将详细讨论不同的点命令。

执行瞬态分析的语句格式为:

```
.TRAN TSTEP TSTOP
```

其中:TSTEP 代表时间增量;TSTOP 代表最后(结束)时间。例如,若以 $10\ \mu\text{s}$ 为增量,0~3 ms 内的瞬态响应的描述语句为:

```
.TRAN 10US 3MS
```

1.7 输出变量

PSpice 在打印或描绘输出电压或电流时具有一些特征。PSpice 所允许的不同种类的输出变量将在第2章讨论。

节点3对于节点0的电压可以写作 V(3,0)或 V(3);节点7对于节点0的电压可以写作 V(7,0)或 V(7);节点1对于节点2的电压应写作 V(1,2)。

1.8 PSpice 的输出命令

最通常的输出形式是列表或绘图。直流扫描(.DC)、频率响应(.AC)、噪声分析(.NOISE)和瞬态分析(.TRAN)可以得到一表或绘图的输出形式。列表输出命令是.PRINT;绘图输出的命令是.PLOT;屏幕图形输出的命令是.PROBE。

由瞬态分析结果描绘 V(3)和 V(7)的输出语句为:

```
.PLOT TRAN V(3) V(7)
```

由瞬态分析结果列表输出 V(3) 和 V(7) 的语句为:

```
.PRINT TRAN V(3) V(7)
```

.PROBE 是 PSpice 的图形信息后处理软件。.PROBE 命令的语句是:

```
.PROBE
```

模拟结果能够以图形输出形式在显示器上显示或进行硬拷贝。在执行.PROBE 命令之后,PROBE 将在屏幕上显示一个菜单以便进行图形输出。PROBE 很容易使用。输出命令将在5.3节讨论。

1.9 电路文件的格式

PSpice 所能读懂的电路文件分为五部分:①描述电路类型的标题或注释;②定义电路元件和模型参数的电路描述;③定义分析类型的分析类型描述;④规定输出形式的输出描述;⑤程序的结束命令.END。电路文件的一般格式如下:

标题

电路描述

分析类型描述

输出描述

.END

几点说明:

- ①第一行,也就是标题行,可以包含任何类型的注释;
- ②最后一行必须是.END 命令;
- ③其余语句的顺序并不重要,且不影响模拟结果;
- ④如果一行写不下一个语句,可以在下一行写,续行由开始位置写加号“+”来表明,续行必须按正确顺序一个接一个地写;
- ⑤注释行可以写在任意位置,注释行在起始位置以星号“*”表明;
- ⑥各项间的空格数目并不十分重要(标题行除外),制表键和逗号与空格键等价,例如“ ”和“,”是等价的;
- ⑦PSpice 的语句或注释既可大写又可小写;
- ⑧SPice2 的语句只能大写,虽然 PSpice 的语句既可大写又可小写,最好用大写字母书写 PSpice 的语句,这样同一个电路文件也可以在 SPice2 上运行;
- ⑨如果对一条命令或语句的作用拿不准,最好运行一下用这条命令或语句编写的电路文件,看看结果如何;
- ⑩在电子线路中,通常用下角标来代表电压、电流和电路元件,然而在 PSpice 中,不用下角标,例如, V_1 、 I_1 、 R_1 、 L_1 、 C_1 、 V_{CC} 在 PSpice 中分别表示成 V1、I1、R1、L1、C1、VCC。因此,PSpice 电路文件中描述电压、电流和电路元件的符号与电路中的符号不同。

1.10 输出文件的格式

PSpice 模拟的结果存储在一个输出文件中,通过各种命令可以控制输出结果的类型和数量。如果电路文件有错误,PSpice 将在屏幕上显示出错,并建议在输出文件中查找错误的细节。输出结果包含如下四种类型:

- ①电路本身的描述,包括网络表、器件表、模型参数表等;
- ②不需 .PLOT 和 .PRINT 命令直接输出的分析结果,包括 .OP、.TF、.SENS、.NOISE 和 .FOUR 分析;
- ③利用 .PRINT 和 .PLOT 命令打印和绘图,包括 .DC、.AC 和 .TRAN 分析;
- ④运行统计信息(各种各样关于整个运行过程的统计信息),包括各种分析所需时间和所

用存储单元数量。

例 1.1 用 PSpice 分析模拟图 1.1 中的电路,计算并描绘出以 $10\ \mu\text{s}$ 为步长, $0\sim 3\ \text{ms}$ 内的瞬态响应。要求打印绘出 $V(2)$ 和 $V(6)$ 的波形。电路文件存在文件 EX1-1.CIR 中,输出结果存在文件 EX1-1.OUT 中。利用 .PROBE 命令使结果显示在屏幕上并进行硬拷贝。

解: 电路文件包含以下语句:

Example 1.1 A lowpass filter circuit with sinusoidal input voltage

VIN 6 0 SIN(0 10 1KHZ)

R1 6 5 50

C1 5 0 3.18UF

L1 5 2 15.9MH

C2 2 0 3.18UF

R2 2 0 50

.TRAN 10US 3MS

.PLOT TRAN V(2) V(6)

.PROBE

.END

若在 DOS 状态下运行 PSpice,可键入 PS 命令(键入 PS,然后按回车键)启动 PSpice,然后装入电路文件 EX1-1.CIR(利用文件操作中的 Load 命令,并注意提供电路文件必要的路径)。如果输入文件中没有错误,则菜单中的 Analysis 以高亮度显示。选择菜单中的 Analysis 项,即可进行电路分析。若在 windows 状态下运行,可以利用鼠标启动 PSpice,然后装入电路文件 EX1-1.CIR,即可对电路进行分析。如果电路文件中有错,则必须对错误进行修改,直至改对为止。对于高版本的 PSpice,也可以利用其绘图功能直接绘制电路图,然后调用 SPice 进行电路分析。

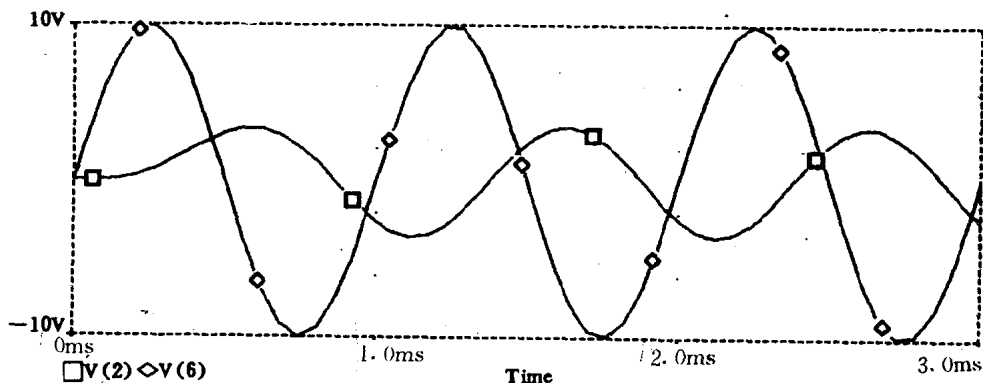


图 1.2 例 1.1 瞬态响应

电路分析的结果存储在输出文件中。用户可以指定输出文件的名称。如果输出文件的名称缺省,那么分析结果将存在一个具有与输入文件名称相同、但扩展名为 .OUT 的输出文件中。在这种情况下,电路文件的后缀为 .CIR,输出文件的后缀为 .OUT。这样电路文件和相应的输出文件可以通过后缀辨认出来。

运行 .PROBE 命令,在显示器上显示的瞬态响应如图 1.2 所示。输出文件 EX1-1.OUT 的内容可以打印出来。

例 1.2 重新分析例 1.1, 设输入为图 1.3 所示的阶跃电压。

解:除了输入为阶跃电压而不是正弦波外,电路文件与例 1.1 的输入文件相似。阶跃信号以分段折线信号代替,通常表示为:

PWL(T1 V1 T2 V2……TN VN)

这里 VN 是 TN 时刻的电压。假设上升时间为 1 ns,则图 1.3 中的阶跃电压可表示为:

PWL(0 0 1NS 1V 4MS 1V)

电路文件清单如下:

Example 1.2 Step response of the lowpass filter circuit

```
VIN      6      0      PWL(0      0      1NS      1V 4MS      1V)
R1       6      5      50
C1       5      0      3.18UF
L1       5      2      15.9MH
C2       2      0      3.18UF
R2       2      0      50
.TRAN    10US    3MS
.PRINT   TRAN    V(2)    V(6)
.PROBE
.END
```

用 .PROBE 命令显示在屏幕上的瞬态响应如图 1.4 所示。输出文件 EX1-2.OUT 中存储了 .PRINT 语句的打印内容。

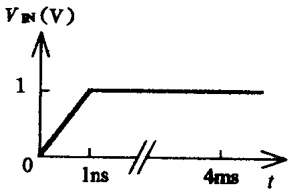


图 1.3 阶跃输入电压

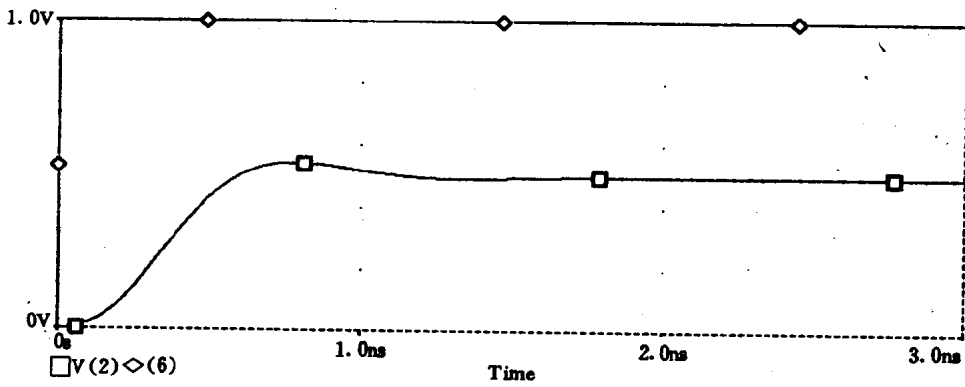


图 1.4 例 1.2 低通滤波器电路的阶跃响应

PSpice 除了可以对电路进行瞬态分析外,也可以对电路进行交流分析,即分析电路的频率响应。频率响应分析可以用 .AC 命令。这个命令的形式为:

.AC DEC NP FSTART FSTOP

其中:DEC 表示按 10 倍频程扫描;NP 代表每 10 倍频程内的扫描点数;FSTART 表示起始频率;FSTOP 则表示最终(或结束)频率。对于 NP=10、FSTART=10 Hz、FSTOP=100 kHz,