

仿客+

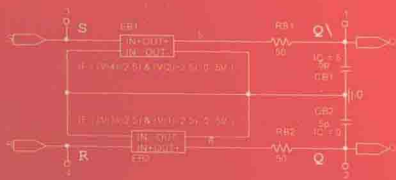
PSpice元器件模型 建立及应用

张东辉 毛鹏 徐向宇 编著

本书主要对PSpice软件中各种元器件模型功能及其使用方法进行详细的讲解，每种模型通过模型构成、使用方式、典型应用电路三个阶段进行分析。本书中实例电路全部附带PSpice仿真程序，读者可以通过机械工业出版社提供的地址下载仿真程序进行学习。

登录机械工业出版社官方网站www.cmpbook.com并注册会员账号

会员登录后，直接进入图书展示区，在查询图书下方输入书名，进入相关下载，获取源代码



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

仿客+

PSpice 元器件模型 建立及应用

张东辉 毛 鹏 徐向宇 编著



机械工业出版社

本书主要对 PSpice 软件中的各种元器件模型功能及其使用方法进行详细讲解, 每种模型通过模型构成、使用方式、典型应用电路三个阶段进行分析。第 1 章详细讲解 Source 库中各种信号源和 ABM 库中各种行为模型的参数设置和功能使用; 第 2 章主要对电阻 R、电容 C、电感 L、变压器和开关模型进行详细讲解; 第 3~7 章分别对半导体二极管、三端稳压器 LM78XX、LM79XX 和 LM317、晶体管 (BJT)、场效应晶体管 (MOSFET) 和运算放大器的模型参数、模型建立、选型和使用进行详细讲解; 第 8 章主要讲解通过分立元件建立控制器模型, 并且对模型进行典型电路测试; 附录以表格形式对软件功能进行详细说明, 主要包括 PSpice 元器件库、ABM 模型、PSpice 中运算函数、Probe 中运算函数、Probe 中测量函数、快捷键、数值缩写、模型语句、命令语句和齐纳稳压二极管模型。本书中的实例电路全部附带 PSpice 仿真程序, 读者可通过机械工业出版社官方网站 www.cmpbook.com 的本书相关页面或者访客 QQ 群 336965207 进行下载, 以供学习使用。

本书适合于用 Cadence/OrCAD 专业仿真软件对电子电路进行设计与分析的学习者和工程技术人员阅读, 也可作为高等院校相关专业教材和参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

PSpice 元器件模型建立及应用/张东辉, 毛鹏, 徐向宇编著. —北京: 机械工业出版社, 2017. 7

(访客+)

ISBN 978-7-111-56909-1

I. ①P… II. ①张…②毛…③徐… III. ①电子电路—计算机辅助设计—应用软件 IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 114324 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 江婧婧 责任编辑: 江婧婧 翟天睿

责任校对: 刘 岚 封面设计: 马精明

责任印制: 李 昂

三河市国英印务有限公司印刷

2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·23.25 印张·510 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-56909-1

定价: 95.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: 010-88361066

读者购书热线: 010-68326294

010-88379203

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

金书网: www.golden-book.com

教育服务网: www.cmpedu.com

序 言

底层有无限的空间，元器件模型即 PSpice 根基，模型的准确性和正确使用直接决定了电路仿真的精度和准确度。PSpice 软件的最新版本自带元器件超过 50000 种，每种元器件包括 PSpice 模型及特性参数、符号和元器件封装，可直接调用进行电路仿真分析和版图绘制，非常便于使用。PSpice 程序附带强大的元器件建模工具——model editor，可以根据元器件数据手册的参数进行模型建立，使得 PSpice 模型大大扩展，应用更加广泛。

本书主要对 PSpice 软件中的各种元器件模型功能及其使用方法进行详细讲解，每种模型通过模型构成、使用方式、典型应用电路三个阶段进行分析。模型构成主要包括各种元器件模型参数、语句和子电路；使用方式主要讲解如何正确、合理地使用各种元器件模型，以便得到准确的仿真结果；典型应用电路对元器件模型建立、电路仿真分析、实际电路搭建和测试进行全套流程演示。另外本书还简要地介绍了实际元器件的型号命名、主要技术参数以及选型。

第 1 章详细讲解 Source 库中各种信号源和 ABM 库中各种行为模型的参数设置和功能使用。理论分析、仿真实例和实际应用相结合，以便读者能够更加灵活地使用信号源和行为模型。

第 2 章主要对 PSpice 软件中电阻 R、电容 C、电感 L、变压器和开关模型进行详细讲解，包括模型构成、仿真设置和模型的典型应用。

第 3 章主要讲解 PSpice 软件中半导体二极管模型建立方法——参数计算、曲线拟合和子电路建模；然后对所建模型进行仿真测试；最后介绍二极管分类及选型。

第 4 章主要对三端稳压器 LM78XX、LM79XX 和 LM317 进行模型建立及典型应用电路设计、仿真和实际测试。

第 5 章首先对晶体管 (BJT) 模型参数和模型建立进行详细讲解；然后对晶体管典型电路进行仿真分析，包括晶体管偏置电路灵敏度分析、放大特性及频率响应、音频放大电路；最后介绍实际晶体管命名及选型。

第 6 章首先介绍场效应晶体管 (MOSFET) 的工作特性和模型参数；然后详细讲解模型建立及仿真测试，模型建立包括参数计算、曲线拟合和子电路建模 3 种方法；最后介绍场效应晶体管选型。

第 7 章主要对运算放大器进行建模和仿真分析，首先建立运放的直流线性模型、交流线性模型、宏模型和实际半导体模型；然后利用 model editor 根据实际运放特性曲线进行建模；接下来对 AD861 和 LM380 进行建模实例练习；最后介绍实际运算放大器参数含义及选型。

第 8 章主要通过分立元件建立控制器模型，包括误差放大器、比较器、与门、非

门、或门、或非门、与非门、反相器、RS 触发器、死区、PWM 电压模式控制器和 PWM 电流模式控制器。建立控制器模型时，首先利用层电路对模型进行测试；然后生成 .lib 文件；最后利用 .lib 文件生成 .olb 文件。控制器模型主要利用行为模型 ABM、布尔逻辑 (BOOLEAN)、IF 语句和无源器件电阻、电容、电感和半导体器件建立。

最后，附录以表格形式对软件功能进行详细说明，主要包括 PSpice 元器件库、ABM 模型、PSpice 中运算函数、Probe 中运算函数、Probe 中测量函数、快捷键、数值缩写、模型语句、命令语句和齐纳稳压二极管模型。

本书将 PSpice 强大的元器件建模与电路仿真功能融入到电路分析与设计中，既适合初学者对元器件模型建立与电路仿真进行基本学习，又适合工程师对复杂系统建模和整体电路进行性能分析。

本书中的实例电路全部附带 PSpice 仿真程序，读者可通过机械工业出版社官方网站 www.cmpbook.com 的本书相关页面或者访客 QQ 群 336965207 进行下载，以供学习使用。

作 者

2017 年 3 月于北京

致 谢

师傅领进门，修行在个人。非常感谢北方工业大学张卫平恩师将学生领进电力电子和 PSpice 的世界，恩师的教诲永记心头——天道酬勤、融会贯通；非常感谢北京航天计量测试技术研究所金俊成和虞培德两位研究员对弟子的谆谆教导和悉心培养，使得徒弟领悟到精益求精的重要性。

感谢妻子陈红女士在我写书期间对家庭的操劳和对我的关心照顾，尤其是本人 2012 年患病毒性脑膜炎住院和康复期间，妻子无微不至的体贴和精神上的鼓励，使得我能够尽快地投入学习和工作；感谢儿子嘟嘟在我思路枯竭时提供无限灵感，从而焕发写作生机。家人是我努力完成本书的精神源泉和强大后盾。

非常感谢付旭东同志对全书文字和程序一丝不苟地校对，并且提出许多非常有建设性的意见。

PSpice 仿真群（336965207）的如下仿友：孙德冲、金力、李少兵、杜建兴、曹珂杰、陈明、黄维笑、刘亚辉、潘如政、刘俭佳、殷建峰、王晓志、于刚、张东东、张远征等对本书提出宝贵的意见和建议，在此表示最衷心的感谢。

张东辉
2017 年 3 月

目 录

序言

致谢

第1章 电压源和电流源 1

- 1.1 信号源 1
 - 1.1.1 直流源和交流源 1
 - 1.1.2 脉冲信号源 VPULSE 和 IPULSE 2
 - 1.1.3 正弦信号源 VSIN 和 ISIN 5
 - 1.1.4 指数信号源 VEXP 和 IEXP 7
 - 1.1.5 分段线性信号源 VPWL 和 IPWL 9
 - 1.1.6 周期性分段线性信号源 VPWL_RE 和 IPWL_RE 9
 - 1.1.7 单频调频信号源 VSFFM 和 ISFFM 12
 - 1.1.8 File 信号源 VPWL_FILE 和 IPWL_FILE 13
- 1.2 受控源 16
 - 1.2.1 受控源符号及其功能 16
 - 1.2.2 受控源应用实例: 变压器功能模型建立与测试 16
- 1.3 ABM 器件 18
 - 1.3.1 ABM 基本器件 18
 - 1.3.2 限幅器 20
 - 1.3.3 切比雪夫滤波器 24
 - 1.3.4 积分器和微分器 27
 - 1.3.5 TABLE 和 FTABLE 及其功能扩展 28
 - 1.3.6 Laplace 变换 34
 - 1.3.7 数学函数 37
 - 1.3.8 表达式器件 38
 - 1.3.9 等效器件 39
 - 1.3.10 IF 语句 42

- 1.3.11 Time 时间变量 45
- 1.4 Temp 温度变量 47
- 1.5 运算函数 50
 - 1.5.1 运算函数简介 50
 - 1.5.2 运算函数创建及测试 52
- 1.6 Probe 中运算函数 54

第2章 无源元件 57

- 2.1 电阻模型 57
 - 2.1.1 定值电阻模型 57
 - 2.1.2 可变阻抗模型 62
 - 2.1.3 压控电阻模型 Rvar 建模 63
 - 2.1.4 电阻器和电位器型号命名方法及主要技术指标 67
- 2.2 电容模型 72
 - 2.2.1 定值电容模型 72
 - 2.2.2 可变电容模型 73
 - 2.2.3 压控电容模型 Cvar 建模 73
 - 2.2.4 电容器型号命名方法及主要技术指标 77
- 2.3 电感模型 79
 - 2.3.1 定值电感模型 79
 - 2.3.2 可变电感模型 82
 - 2.3.3 压控电感模型 Lvar 建模 82
 - 2.3.4 电感器分类及主要技术指标 85
- 2.4 变压器模型 85
 - 2.4.1 变压器分类和使用 86
 - 2.4.2 变压器应用 87
 - 2.4.3 非线性变压器使用 88
 - 2.4.4 非线性磁心建模 89
 - 2.4.5 实际变压器模型参数辨识 92
 - 2.4.6 变压器模型在反激变换器中的应用 97

2.4.7 变压器模型总结	97	4.4.1 子电路模型建立与测试	155
2.5 开关	99	4.4.2 LM317 物理模型建立与 测试	160
2.5.1 压控开关	99	4.5 LM317 测试电路	164
2.5.2 流控开关	101	4.5.1 基本功能测试	164
2.5.3 时控开关	101	4.5.2 扩流功能测试	164
第3章 二极管	103	4.5.3 加入 AC220V 和变压器整流 后稳压电路仿真	164
3.1 二极管模型	103	4.5.4 交流稳定性分析	166
3.2 二极管工作特性	104	第5章 双极结型晶体管	168
3.3 二极管模型参数计算建模	106	5.1 晶体管 PSpice 模型	168
3.4 二极管曲线拟合建模	110	5.2 晶体管工作特性	171
3.5 二极管子电路建模	118	5.3 晶体管参数计算建模	172
3.6 齐纳二极管	124	5.4 晶体管曲线拟合建模	176
3.7 二极管分类和选型	125	5.5 晶体管典型电路仿真	187
3.7.1 半导体二极管分类	125	5.5.1 晶体管共射放大电路	187
3.7.2 半导体二极管主要参数	125	5.5.2 晶体管温度分析	190
3.7.3 常用二极管特性	126	5.5.3 晶体管放大电路频率 响应	190
第4章 三端稳压器模型建立及 应用	128	5.5.4 晶体管电阻反馈型两级 放大电路	191
4.1 LM78XX 系列稳压器 PSpice 模型建立	128	5.6 晶体管音频放大电路 仿真分析	193
4.1.1 LM78XX 功能模型建立及 仿真测试	129	5.7 晶体管命名与选型	197
4.1.2 三端稳压器物理模型建立及 仿真测试	133	5.7.1 晶体管命名方法	197
4.2 LM78XX 系列三端稳压器 典型应用电路	139	5.7.2 晶体管主要技术参数及 选型	198
4.2.1 固定输出稳压电路	139	第6章 场效应晶体管	200
4.2.2 输出电压调节	139	6.1 MOSFET 工作特性	200
4.2.3 输入电压扩展	140	6.1.1 截止区	200
4.2.4 输出扩流	141	6.1.2 放大区	200
4.2.5 输出电流提高和限流	144	6.1.3 饱和区	201
4.2.6 三端稳压器扩展功能	146	6.2 MOSFET 模型参数	201
4.3 三端稳压器实际应用 电路设计	149	6.3 MOSFET 建模	204
4.3.1 三端稳压器实际应用电路 设计和仿真	149	6.3.1 MOSFET 参数计算建模	204
4.3.2 三端稳压器用兵字变压器 选型指南	153	6.3.2 MOSFET 曲线拟合建模	206
4.4 LM317 模型建立与电路测试	155	6.3.3 MOSFET 子电路建模及实际 电路测试	218
		6.4 MOSFET 选型	224

第7章 运算放大器	226
7.1 运放的直流线性模型	226
7.1.1 运放直流线性模型建立	226
7.1.2 运放直流线性模型 仿真测试	227
7.2 运放的交流线性模型	229
7.2.1 运放交流线性模型建立	229
7.2.2 运放交流线性模型 仿真测试	230
7.3 简化的运放非线性宏模型	231
7.4 复杂的运放非线性宏模型	233
7.4.1 复杂的运放非线性 宏模型建立	233
7.4.2 复杂的运放非线性宏模型 仿真测试	235
7.5 运放的物理模型	237
7.5.1 运放的简单物理模型	237
7.5.2 运放的复杂物理模型	239
7.6 根据数据手册建立运放模型	241
7.7 AD8061 运放模型建立及测试	247
7.7.1 根据官网 lib 模型建立 olb 文件	247
7.7.2 根据 AD8061 运放数据手册 对模型进行测试	249
7.8 LM380 集成功放模型建立及 测试	254
7.8.1 LM380 功能简介	254
7.8.2 LM380 工作原理仿真 分析	254
7.8.3 LM380 模型直流仿真 测试	256
7.8.4 LM380 模型闭环测试	256

7.9 运放参数含义及选型 指南	259
7.9.1 运放专业术语	259
7.9.2 运放重要参数具体含义	259
7.9.3 运放选型	261

第8章 电源控制器	270
8.1 IF 语句	270
8.2 基本功能模块	274
8.2.1 误差放大器、比较器	274
8.2.2 逻辑门：与门、与非门、或门、 或非门、反相器、触发器、 死区、采样	286
8.3 电压模式 PWMVM 控制器建立与 实际电路仿真	312
8.4 电流模式 PWMCM 控制器建立与 实际电路仿真	317
8.5 仿真实例：临界模式 Boost PFC 电路仿真	322
附录	326

附表1 PSpice 元器件库列表	326
附表2 ABM 模型列表	331
附表3 PSpice 中运算函数	334
附表4 Probe 中运算函数	336
附表5 Probe 中测量函数	336
附表6 快捷键	342
附表7 数值缩写	342
附表8 模型语句	343
附表9 命令语句	348
附表10 齐纳稳压二极管 模型 (Diode. lib)	348

参考文献	361
-------------------	-----

第 1 章

电压源和电流源

PSpice 软件的 Source 库中包含各种功能的信号源，ABM 库中包含各种功能的行为模型，可以通过参数、表达式和文件对其进行具体设置。本章主要对信号源和行为模型的参数设置和功能使用进行详细讲解，将理论分析、仿真实例和实际应用相结合，以便读者能够更加灵活地使用电压源、电流源和 ABM 行为模型。

1.1 信号源

1.1.1 直流源和交流源

PSpice 软件的 Source 库中包含直流电压源、直流电流源、交流电压源和交流电流源，其符号、名称和参数设置分别如图 1.1、表 1.1 和表 1.2 所示。直流信号源 VDC 和 IDC 主要用于电路供电和直流分析，通过直流幅值（DC）进行参数设置；交流信号源 VAC 和 IAC 主要用于电路频率特性分析，交流分析时信号源频率改变、幅值保持恒定，并且可以通过直流幅值（DC）、交流幅值（ACMAG）和相位（ACPHASE）对其进行参数设置。



图 1.1 直流和交流信号源符号

表 1.1 直流和交流信号源列表

信号源名称	功能
VDC	直流电压源
IDC	直流电流源
VAC	交流电压源
IAC	交流电流源

表 1.2 直流和交流信号源参数设置

参数名称	含义	单位	默认值
DC	直流幅值	V 或 A	无, 必须设置
ACMAG	交流幅值	V 或 A	无, 必须设置
ACPHASE	相位	°	无, 必须设置

1.1.2 脉冲信号源 VPULSE 和 IPULSE

脉冲信号源主要用于电路时域分析时输出多种周期性信号, 例如方波、矩形波、三角波、锯齿波等; 脉冲信号源也可用于模拟电路上电软启动、产生 PWM 驱动信号或功率信号等。图 1.2、图 1.3 和表 1.3、表 1.4 所示分别为脉冲信号源符号、波形和详细参数。

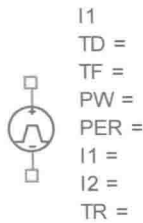
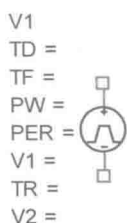


图 1.2 脉冲信号源符号

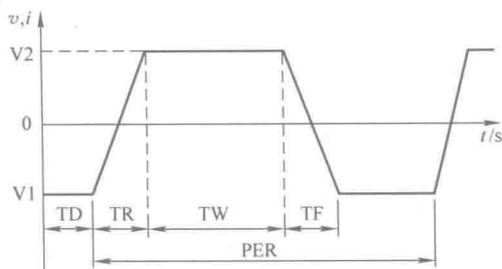


图 1.3 脉冲信号源波形及参数对照

表 1.3 VPULSE 和 IPULSE 参数设置

参数名称	含义	单位	默认值
V1 或 I1	初始值	V 或 A	无, 必须设置
V2 或 I2	脉冲值	V 或 A	无, 必须设置
TD	延迟时间	s	0
TF	下降时间	s	TSTEP
TR	上升时间	s	TSTEP
PW	脉冲宽度	s	结束时间 TSTOP
PER	周期	s	结束时间 TSTOP

表 1.4 时间与 VPULSE 和 IPULSE 参数值对应关系

时间	VPULSE	IPULSE	注释
0	V1	I1	初始
TD	V1	I1	延迟
TD + TR	V2	I2	上升
TD + TR + PW	V2	I2	高电压
TD + TR + PW + TF	V1	I1	下降
TD + PER	V1	I1	低电压
TD + PER + TR	V2	I2	上升

表 1.3 中, TSTOP 为瞬态仿真分析中的 Run to 设置值; TSTEP 为 Print Step 设置值, 通常设置为 TSTOP 值的百分之一, 当设置了最大步长 Maximum step 时, TSTEP 与最大步长值一致。

图 1.4 和图 1.5 所示分别为 VPULSE 脉冲信号源仿真电路和仿真设置, 通过该电路对其参数默认值进行仿真测试。

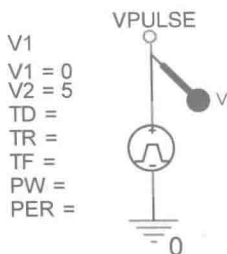


图 1.4 VPULSE 参数默认值测量电路



图 1.5 VPULSE 参数默认值仿真设置

最大步长 Maximum step = $1\mu\text{s}$, Run to 时间即结束时间 TSTOP = $20\mu\text{s}$ 。

图 1.6 中脉冲波形上升沿时间 TR 为 $1\mu\text{s}$, 等于最大步长设置值; 脉冲宽度 PW 和周期 PER 均为 $20\mu\text{s}$, 等于 TSTOP 设置值。

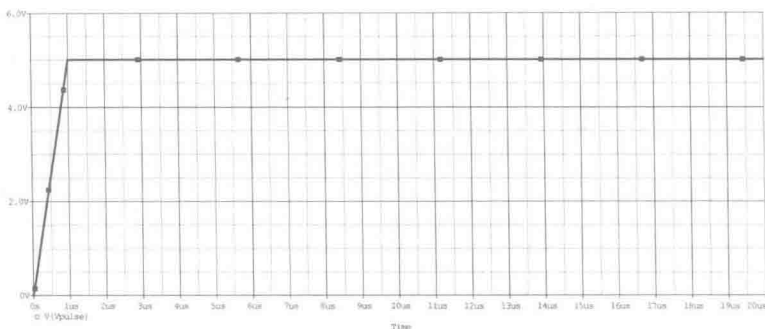


图 1.6 VPULSE 默认值输出波形

在最大步长 Maximum step 为空、结束时间 TSTOP = $20\mu\text{s}$ 时重新仿真, 输出波形如图 1.7 和图 1.8 所示。

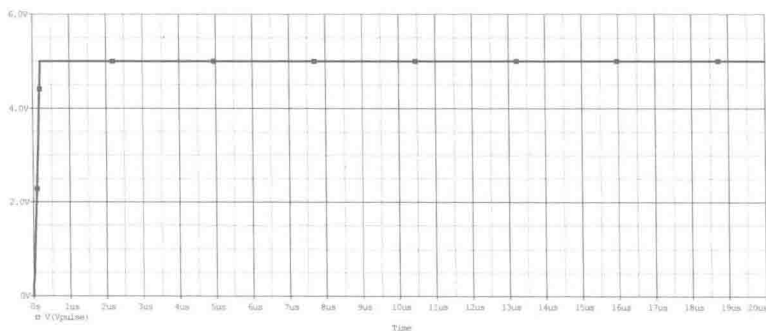


图 1.7 最大步长 Maximum step 为空时输出脉冲波形

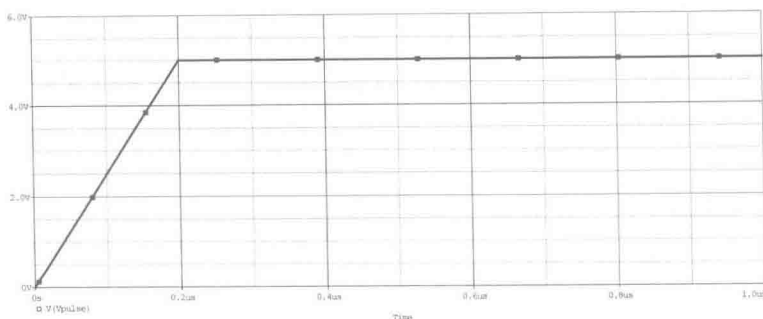


图 1.8 最大步长 Maximum step 为空时输出脉冲放大波形

图 1.8 中脉冲波形上升沿时间 TR 为 $0.2\mu s$ ，等于 $TSTOP$ 设置值的百分之一；脉冲宽度 PW 和周期 PER 均为 $20\mu s$ ，等于 $TSTOP$ 设置值。

图 1.10 中脉冲波形上升沿时间 TR 和下降沿时间 TF 均为 $1\mu s$ ，脉冲宽度 PW 为 $5\mu s$ ，周期 PER 为 $10\mu s$ ，无论最大步长是否设置，脉冲输出波形均与图 1.9 中参数设置值一致。所以实际使用脉冲源时一定要对其参数进行详尽、正确的设置。 $VPULSE$ 通常用于开关器件驱动，周期、脉冲宽度、脉冲电压值根据实际电路需求进行设置。上升沿和下降沿设置比较复杂，与实际电路和开关器件特性均有关系，如果没有确定数值，则通常将 TR 和 TF 设置为小于脉冲周期 PW 的千分之一。当 TR 和 TF 设置值太小时仿真步长就会变小，这样会增加仿真时间和数据存储量。所以应在充分理解电路的基础之上对其所用元器件进行参数设置和仿真分析，以便快速得到正确的仿真结果。

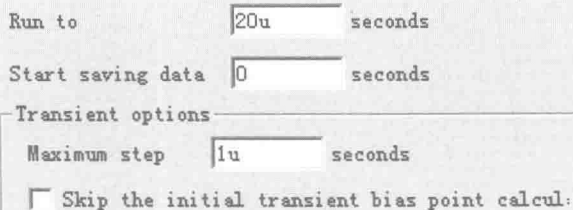
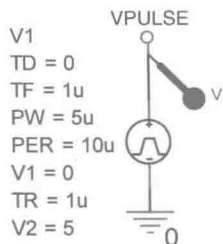


图 1.9 VPULSE 参数和仿真设置

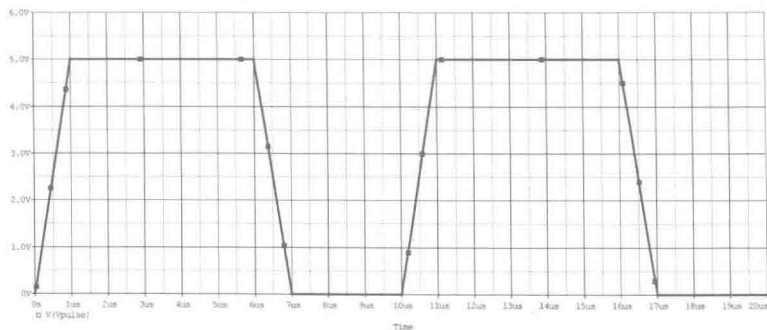


图 1.10 VPULSE 参数设置时输出波形

通过不同设置,脉冲信号源能够生成脉冲波、三角波、锯齿波等多种波形;通过参数 PARAM 统一设置其频率、峰值和占空比,使用非常便捷。图 1.11 和图 1.12 所示分别为参数设置电路和输出波形。

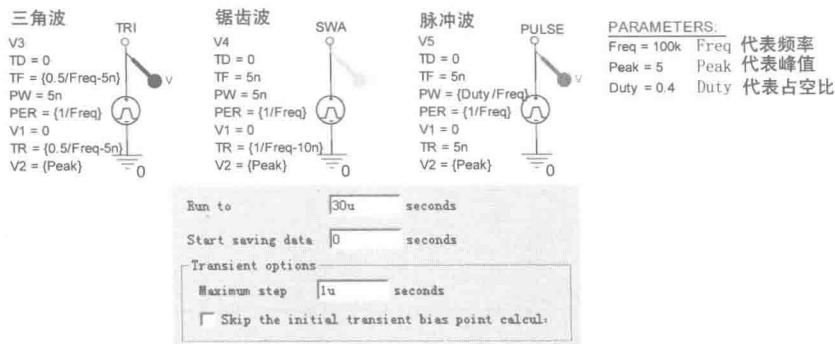


图 1.11 VPULSE 参数和仿真设置

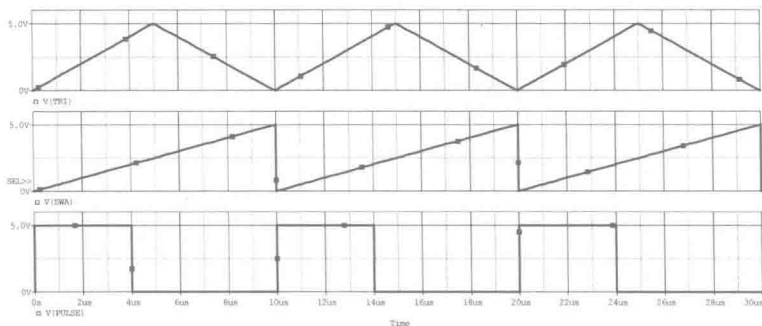


图 1.12 VPULSE 输出波形

1.1.3 正弦信号源 VSIN 和 ISIN

正弦信号源因其频率固定且波形与正弦波曲线一致而得名。在 PSpice 中分别由 VSIN 和 ISIN 代表正弦电压源和正弦电流源,符号如图 1.13 所示,通过参数值对其进行具体设置。正弦信号源

VSIN
VOFF = 0
VAMPL = 0
FREQ = 0
DF = 0
TD = 0
PHASE = 0
AC =
DC =



ISIN
IOFF =
IAMPL =
FREQ =
AC = 0Aac
DC = 0Adc
DF = 0
PHASE = 0
TD = 0



图 1.13 正弦信号源符号

主要用于交流放大电路、整流滤波电路、电源电路和测量电路的仿真分析,使用非常广泛。

正弦信号源参数设置见表 1.5,完整设置包括偏置值、峰值振幅、频率、相位、阻尼因子、延迟时间、交流幅值和直流幅值。VOFF 或 IOFF 为零时刻电压或电流偏置值;VAMPL 或 IAMPL 为峰值振幅,即正弦信号源幅值;FREQ (Hz) 为波形每秒钟的周期

数, 即频率; PHASE ($^{\circ}$) 为波形初始相位; DF (1/s) 为波形阻尼因子, 设置波形衰减特性; TD (s) 为启动延迟时间; AC 为交流幅值, 用于交流仿真分析; DC 为直流幅值, 用于直流仿真分析。

表 1.5 VSIN 和 ISIN 参数设置

参数名称	含义	单位	默认值
VOFF 或 IOFF	偏置值	V 或 A	无, 必须设置
VAMPL 或 IAMPL	峰值振幅	V 或 A	无, 必须设置
FREQ	频率 f	Hz	1/TSTOP
PHASE	相位 θ	$^{\circ}$	0
DF	阻尼因子	1/s	0
TD	延迟时间	s	0
AC	交流幅值	V 或 A	0
DC	直流幅值	V 或 A	0

表 1.5 中 TSTOP 为瞬态仿真分析参数 Run to 的设置值。当 DF 阻尼因子为 0 时, 即为常用正弦信号源。AC 用于交流分析, 设置交流信号源幅值。表 1.6 为时间与 VSIN 和 ISIN 参数值对应关系, 其表达式如下:

正弦电压源表达式: $VSIN(t) = VOFF + VAMPL \times e^{-DF(t-TD)} \times \sin(2\pi f(t-TD) + \theta)$

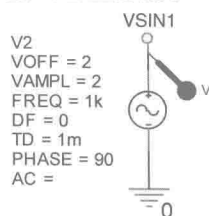
正弦电流源表达式: $ISIN(t) = IOFF + IAMPL \times e^{-DF(t-TD)} \times \sin(2\pi f(t-TD) + \theta)$

表 1.6 时间与 VSIN 和 ISIN 参数值对应关系 (t 为时间)

时间	VSIN	ISIN	注释
0 ~ TD	$VOFF + VAMPL \times \sin(\theta)$	$IOFF + IAMPL \times \sin(\theta)$	初始
TD ~ TSTOP	$VOFF + VAMPL \times e^{-DF(t-TD)} \times \sin(2\pi f(t-TD) + \theta)$	$IOFF + IAMPL \times e^{-DF(t-TD)} \times \sin(2\pi f(t-TD) + \theta)$	正弦

图 1.14 和图 1.15 所示分别为正弦信号源仿真设置和输出波形, 直流偏置值 VOFF = 2V, 相位 PHASE = 90° , 延迟时间 TD = 1ms, 所以在 0 ~ 1ms 内, 波形幅值为 $VOFF + VAMPL \times \sin(-2\pi + PHASE) = 2 + 2 \times \sin(90^{\circ}) = 4$; 1ms 之后波形按照正弦波进行输出。DF 阻尼因子用于设置有阻尼正弦波, 根据实际波形特性设置 DF 参数值。

无阻尼正弦波



有阻尼正弦波

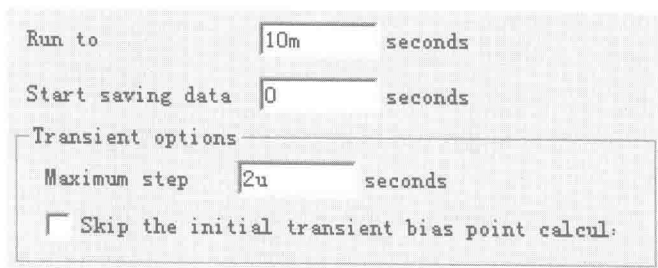
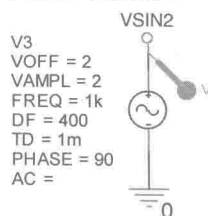


图 1.14 正弦信号源仿真设置

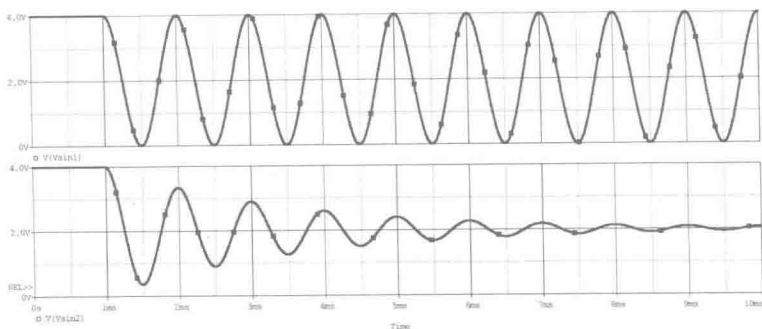


图 1.15 正弦信号源输出电压波形

1.1.4 指数信号源 VEXP 和 IEXP

指数信号源符号、波形图和参数设置分别如图 1.16、图 1.17 和表 1.7 所示。通过参数设置,指数信号源能够实现瞬态、直流和交流仿真分析。初始值和峰值无默认值,必须设置;TD1 和 TD2

VEXP
V1 =
V2 =
TD1 =
TC1 =
TD2 =
TC2 =
AC =
DC =



IEXP
I1 =
I2 =
TD1 =
TC1 =
TD2 =
TC2 =
AC = 0Aac
DC = 0Adc



图 1.16 指数信号源符号

分别为波形上升和下降延迟时间,仿真时根据实际波形特性进行具体参数设置,否则软件使用默认值时会出现错误;TC1 和 TC2 分别为波形上升和下降时间常数,可以通过实际计算得到。指数信号源主要用于脉冲和阶跃放大电路、电源电路和测量电路的仿真分析,使用非常广泛。

指数信号源的参数设置见表 1.7 所示,其完整定义包括初始值、峰值、上升和下降延迟时间、上升和下降时间常数、交流幅值和直流幅值。交流幅值用于交流仿真分析,直流幅值用于直流仿真分析;TSTEP 为瞬态仿真分析设置中的打印步长,通常为最大仿真步长。

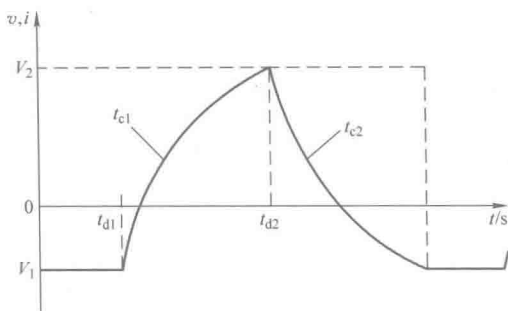


图 1.17 指数信号源参数、波形对照图

表 1.7 VEXP 和 IEXP 参数设置

参数名称	含义	单位	默认值
V1 或 I1	初始值	V 或 A	无, 必须设置
V2 或 I2	峰值	V 或 A	无, 必须设置
TD1	上升延迟时间	s	1/TSTOP
TC1	上升时间常数	s	TSTEP

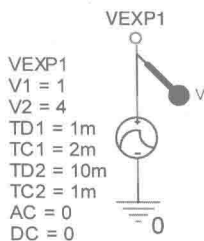
(续)

参数名称	含义	单位	默认值
TD2	下降延迟时间	s	TD1 + TSTEP
TC2	下降时间常数	s	TSTEP
AC	交流幅值	V 或 A	0
DC	直流幅值	V 或 A	0

表 1.8 为时间与 VEXP 和 IEXP 参数值对应函数关系, 图 1.18 和图 1.19 所示为指数信号源仿真设置和输出波形, 初始电压 $V1 = 1V$, 延迟时间 $TD1 = 1ms$, 在 $0 \sim 1ms$ 时间内波形幅值保持 $V1 = 1V$ 不变; 在 $TD1 \sim TD2$, 即 $1 \sim 10ms$ 内波形按照指数方程 $V1 + (V2 - V1) \times (1 - e^{-(t-TD1)/TC1})$ 进行变化, 时间常数 $TC1 = 2ms$, 经过 4 倍时间常数后, 波形电压值接近峰值, $V2$ 设置值为 $4V$; 延迟时间 $TD2 = 10ms$, 在 $TD2 \sim TSTOP$ 时间内波形幅值按照指数方程 $V1 + (V2 - V1) \times ((1 - e^{-(t-TD1)/TC1}) - (1 - e^{-(t-TD2)/TC2}))$ 进行变化, 时间常数 $TC2 = 1ms$, 经过 4 倍时间常数后波形电压值接近初始值 $1V$, 并且随着时间增加收敛于初始值。

表 1.8 时间与 VEXP 和 IEXP 参数值对应关系 (t 为时间)

时间	VEXP	IEXP	注释
$0 \sim TD1$	$V1$	$I1$	初始值
$TD1 \sim TD2$	$V1 + (V2 - V1) \times (1 - e^{-(t-TD1)/TC1})$	$I1 + (I2 - I1) \times (1 - e^{-(t-TD1)/TC1})$	指数变化
$TD2 \sim TSTOP$	$V1 + (V2 - V1) \times ((1 - e^{-(t-TD1)/TC1}) - (1 - e^{-(t-TD2)/TC2}))$	$I1 + (I2 - I1) \times ((1 - e^{-(t-TD1)/TC1}) - (1 - e^{-(t-TD2)/TC2}))$	指数变化



Run to 20m seconds

Start saving data 0 seconds

Transient options

Maximum step 5u seconds

☐ Skip the initial transient bias point calc.

图 1.18 指数信号源仿真设置

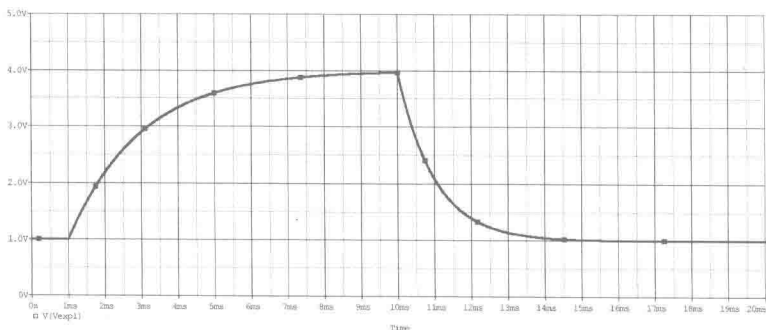


图 1.19 指数信号源输出电压波形