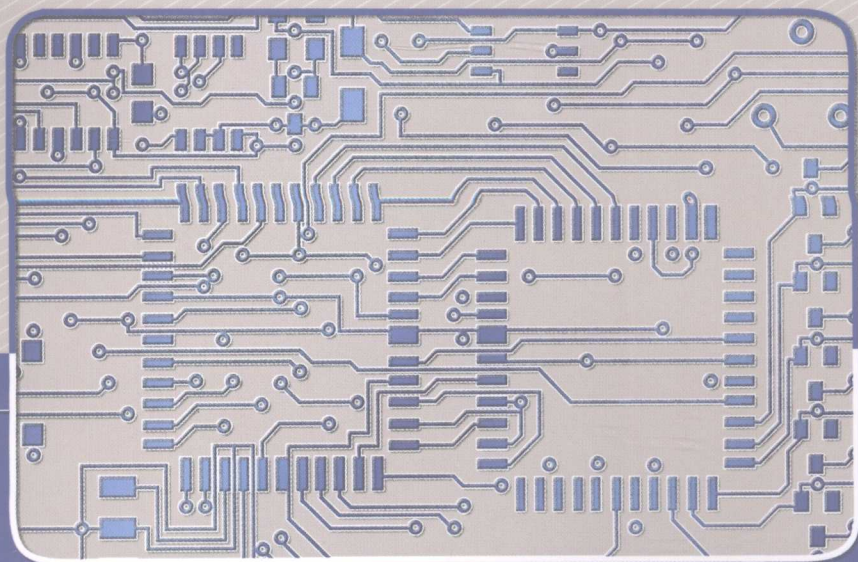


EDA工具应用丛书

Multisim 10

计算机仿真

在电子电路设计中的应用



聂典丁伟 主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

EDA 工具应用丛书

Multisim 10 计算机仿真 在电子电路设计中的应用

聂 典 丁 伟 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书主要讲解最新的 EDA 设计软件 NI Multisim 10 的使用方法,包括功能概述、基本操作、元件库描述、仪器仪表的使用、基本分析方法等综合性内容,并具体讲解了 NI Multisim 10 在电路分析、模拟/数字电路、集成运放、电子电路设计、射频电路、电子测量、电源电路、单片机仿真、VHDL 仿真、Verilog HDL 仿真以及数字通信原理中的应用。

本书适合通信工程、电子信息、自动化、电气控制等专业的学生学习和进行综合性的设计、试验,同时也适用于从事电子相关行业的人员。

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

Multisim 10 计算机仿真在电子电路设计中的应用/聂典,丁伟主编. —北京:电子工业出版社,2009.7
(EDA 工具应用丛书)

ISBN 978-7-121-09157-5

I. M… II. ①聂…②丁… III. 电子电路—电路设计:计算机辅助设计—应用软件, Multisim 10 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 106106 号

责任编辑:窦 昊(douhao@phei.com.cn)

印 刷:北京天宇星印刷厂

装 订:三河市皇庄路通装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:29.75 字数:761.6 千字

印 次:2009 年 7 月第 1 次印刷

定 价:59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

本书编写的目的不仅仅是让它成为一本计算机学习用书，还希望为所有学习电子电路和从事这方面工作的读者提供一条更加经济、高效的设计新途径和指导。它既适用于Multisim 仿真软件的初学者，也适合具有一定的计算机仿真软件使用经验和想通过使用Multisim 仿真软件进行电子电路设计的读者。

计算机仿真软件 NI Multisim 10 是美国国家仪器公司（NI 公司）推出的最新版本。在本教材完成之前，市面上已有各种 Multisim 以前版本的书籍出售，但大多着眼于介绍软件的使用，与教学结合较少。本教材是在借鉴了多方面的宝贵经验，并切实考察了多个学科教学实际情况的基础上，本着为电子电路教学贡献微薄之力的宗旨，在多方面的努力和帮助下完成的。本教材除了包含以往各个版本的功能外，还介绍了 NI Multisim 10 最新增加的一些功能和仪器、分析方法的使用。

本教材阐述了 NI Multisim 10 的各项主要功能，利用详细的图表和文字说明，指导读者从了解软件本身开始，直到学会建立一个完整的电路和进行仿真、分析以及产生报告等操作。从文章总的结构上看，本教材可分为以下章节。

主要内容有：第 1 章概述；第 2 章 Multisim 10 元件库；第 3 章 Multisim 10 仪器仪表的使用；第 4 章 Multisim 10 的基本分析方法；第 5 章 Multisim10 在电路分析中的应用；第 6 章 Multisim 10 在模拟电路中的应用；第 7 章 Multisim 10 在集成运放中的应用；第 8 章 Multisim 10 在通信电路中的应用；第 9 章 Multisim 10 在射频电路中的应用；第 10 章 Multisim 10 在数字电路中的应用；第 11 章 Multisim 10 在电子测量中的应用；第 12 章 Multisim 10 在电源电路中的应用；第 13 章基于 Multisim 10 的单片机仿真；第 14 章基于 Multisim 10 的 VHDL 仿真；第 15 章 Verilog HDL 仿真；第 16 章 Multisim 10 在数字通信原理中的应用。

教材中还含有大量插图、图表，内容详细，图文并茂，资料翔实，涉及范围广。

本书由聂典、丁伟、唐赣、聂梦晨、刘景夏等人编写。

本书在编写过程中，还得到 NI 公司 Arnold Hougham 先生、Evan Robinson 先生、梁锐老师、潘天后老师、陈庆全老师、唐赣老师，解放军理工大学朱宁一系主任、贾山松主任、陈晓华教授、刘景夏主任、岳振军主任、关宇主任、闵锐主任、聂梦晨、陈庭甦、徐勇、黄德强、邱国防、张生君、黄建军、恽姿等同志，赵洁女士、KP 先生、陈涌、曾克莉等人的大力协助与支持，谨此向他们表示衷心的感谢！

因时间仓促，作者水平有限，在编写的教材中难免会有错误和疏漏的地方，恳请各位专家和读者批评指正。

本教材中所有仿真实例可以在电子工业出版社网站下载。

若读者在使用本教材过程中遇到各种疑问，可随时与作者联系。联系方式如下：

聂 典 手机：13851865438
E-mail: nnnnffnnnnff@sina.com.cn
QQ: 602126676

丁 伟 E-mail: janedin7@163.com

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 什么是 EDA	1
1.2 EDA 的用处	1
1.3 EWB 与 Multisim	2
第 2 章 Multisim 10 元件库	4
2.1 Multisim 10 元件库及其使用	4
2.2 创建元器件	47
第 3 章 Multisim 10 仪器仪表的使用	84
3.1 仪器仪表的基本操作	84
3.2  数字万用表	84
3.3  函数信号发生器	86
3.4  功率计	87
3.5  两通道示波器	87
3.6  四通道示波器	89
3.7  波特图示意	91
3.8  频率计数器	92
3.9  字信号发生器	93
3.10  逻辑分析仪	95
3.11  逻辑转换仪	97
3.12  IV 分析仪	98
3.13  失真分析仪	99
3.14  频谱分析仪	101
3.15  网络分析仪	102
3.16  安捷伦信号发生器	103
3.17  安捷伦万用表	104
3.18  安捷伦示波器	105
3.19  泰克示波器	107
3.20  实时测量探针	108
3.21  LabVIEW 采样仪器	110
3.22  电流探针	113
第 4 章 Multisim 10 的基本分析方法	115
4.1 Multisim 10 的分析菜单	115

4.2	直流工作点分析	115
4.3	交流分析	119
4.4	瞬态分析	119
4.5	傅里叶分析	121
4.6	噪声分析	123
4.7	失真分析	126
4.8	直流扫描分析	129
4.9	灵敏度分析	131
4.10	参数扫描分析	134
4.11	温度扫描分析	137
4.12	零-极点分析	138
4.13	传递函数分析	139
4.14	最坏情况分析	140
4.15	蒙特卡罗分析	144
4.16	线宽分析	148
4.17	批处理分析	151
4.18	用户自定义分析	152
4.19	噪声系数分析	156
第 5 章	Multisim 10 在电路分析中的应用	157
5.1	电阻元件伏安特性的仿真分析	157
5.2	用 DC Sweep 分析直接测量电阻元件的伏安特性	159
5.3	电容特性的仿真测试	160
5.4	电感特性的仿真测试	162
5.5	LC 串联谐振回路特性的仿真测试	163
5.6	LC 并联回路特性的仿真测试	167
5.7	互感耦合回路的仿真测试	169
5.8	受控源的仿真演示	171
5.9	戴维南和诺顿等效电路的仿真分析	174
5.10	电路节点电压的仿真分析	176
5.11	二阶电路动态变化过程的仿真分析	176
5.12	交流电路参数的仿真测定	182
5.13	三相电路的仿真分析	183
5.14	二端口网络参数的仿真测定	186
第 6 章	Multisim 10 在模拟电路中的应用	190
6.1	测量晶体管特性曲线	190
6.2	晶体管单管放大电路的仿真	192
6.3	多级放大电路	201
6.4	负反馈放大电路	206

6.5	差动放大器电路	215
6.6	低频功率放大器电路	219
第 7 章	Multisim 10 在集成运放中的应用	222
7.1	比例求和运算电路	222
7.2	积分与微分运算电路	224
7.3	对数器	228
7.4	指数运算电路的仿真分析	233
7.5	一阶有源滤波器	234
7.6	二阶有源滤波器	239
7.7	电压比较器	243
第 8 章	Multisim 10 在通信电路中的应用	247
8.1	谐振回路	247
8.2	小信号调谐放大器	250
8.3	高频功率放大器的基本原理	257
8.4	LC 正弦波振荡器的基本原理	260
8.5	石英晶体振荡器的基本原理	269
8.6	非线性电路的分析方法	271
8.7	振幅调制与解调的基本要点	275
8.8	角度调制与解调的基本要点	288
8.9	模拟乘法器混频电路的仿真	292
8.10	锁相环的基本要点	293
第 9 章	Multisim 10 在射频电路中的应用	296
9.1	RF 及 RF 电路	296
9.2	Multisim 10 中的 RF 模块	296
9.3	RF 仿真实例	305
第 10 章	Multisim 10 在数字电路中的应用	307
10.1	门电路的仿真分析	307
10.2	时序逻辑电路的仿真分析	320
10.3	A/D 与 D/A 转换电路的仿真分析	324
10.4	可编程任意波形信号发生器	327
10.5	555 集成定时电路的仿真分析	329
第 11 章	Multisim 10 在电子测量中的应用	332
11.1	Agilent 数字万用表——Agilent 34401A	332
11.2	Agilent 数字示波器——Agilent 54622D	342
11.3	Agilent 函数发生器——Agilent 33120A	350
11.4	泰克示波器——TDS 2024	362

第 12 章	Multisim 10 在电源电路中的应用	364
12.1	单相半波可控整流电路的仿真分析	364
12.2	单相半控桥整流电路的仿真分析	365
12.3	三相桥式整流电路的仿真分析	367
12.4	直流降压斩波变换电路的仿真分析	368
12.5	直流升压斩波变换电路的仿真分析	369
12.6	直流降压-升压斩波变换电路的仿真分析	370
12.7	DC-AC 全桥逆变电路的仿真分析	372
12.8	MOSFET DC-AC 全桥逆变电路的仿真分析	373
12.9	正弦脉宽调制逆变电路的仿真分析	375
12.10	SPWM 产生电路的仿真分析	376
12.11	SPWM 逆变电路的仿真分析	377
第 13 章	基于 Multisim 10 的单片机仿真	379
13.1	Multisim 10 的单片机仿真平台	379
13.2	单片机仿真的建立实例	383
13.3	Multisim 10 单片机仿真的更多信息	393
第 14 章	基于 Multisim 10 的 VHDL 仿真	394
14.1	Multisim 10 的 VHDL 仿真平台	394
14.2	创建 VHDL 模型的元件	409
第 15 章	Verilog HDL 仿真	431
15.1	Verilog HDL 的仿真平台	431
15.2	软件的使用	432
15.3	创建 Verilog HDL 模型的元件	441
15.4	Verilog HDL 模型元件的仿真	443
第 16 章	Multisim 10 在数字通信原理中的应用	444
16.1	数字通信原理中常用信号的构建	444
16.2	数字通信原理中一些基本电路的仿真及分析	450
参考文献		465

第 1 章 概 述

1.1 什么是 EDA

EDA 是 Electronic Design Automation 的缩写, 即电子设计自动化。电子设计是人们进行电子产品设计、开发和制造过程中十分关键的一步, 其核心工作就是电子电路的设计。在电子技术的发展过程中, 按计算机辅助技术介入的深度和广度, 出现了三种设计方案, 或者说是三个发展阶段: 第一种方法是所谓传统的设计方法, 涉及的电子系统一般较为简单, 工作量也不大, 从方案的提出、验证、修改到完全定型都采用人工手段完成; 第二种方法是所谓的计算机辅助设计 (CAD) 方法, 就是由计算机完成数据处理、模拟评价、设计验证等部分工作, 由人和计算机共同完成 (或者说是由计算机辅助人完成) 设计工作的方法, 这种方法是在电子产品由简单向复杂、电子设计工作量由小到大发展过程中产生的; 第三种方法是所谓的 EDA 方法, 它是在电子产品向更复杂、更高级, 向数字化、集成化、微型化和低功耗方向发展过程中逐渐产生并日趋完善的。在这种方法中, 设计过程的大部分工作 (特别是底层工作) 均由计算机自动完成。

第一种设计方法是一种自下而上的设计方法, 即首先由设计人员根据自己的经验, 利用现有通用元器件, 完成各部件电路的设计、搭试、性能指标测试等, 然后构建整个系统, 最后经调试、测量达到规定的指标。这种方法不但花费大、效率低、周期长, 而且基本上只适用于早期较为简单的电子产品的设计, 对于比较复杂的电子产品的设计越来越力不从心。

第三种设计方法是一种自上而下的设计方法, 它从系统设计入手, 先在顶层进行功能划分、行为描述和结构设计, 然后在底层进行方案设计与验证、电路设计与 PCB 设计、专用集成电路 (ASIC) 设计。在这种方法中, 除系统设计、功能划分和行为描述外, 其余工作由计算机自动完成。这种方法花费少、效率高、周期短、功能强、应用范围广。

可见, EDA 是电子技术发展历程中产生的一种先进的设计方法, 是当今电子设计的主流手段和技术潮流, 是电子设计人员必须掌握的一门技术。

1.2 EDA 的用处

EDA 所涉及的范围有以下三个方面。

1. 电路 (含部件级电路和系统级电路) 设计

电路设计主要是指原理电路的设计、PCB 设计、专用集成电路 (ASIC) 设计、可编程逻辑器件设计和单片机 (MCU) 的设计。

2. 电路仿真

电路仿真是利用 EDA 系统工具的模拟功能对电路环境（含电路元器件级测试仪器）和电路过程（从激励到响应的全过程）进行仿真。这个工作对应着传统电子设计的电路搭建和性能测试。由于不需要真实电路环境的介入，因此花费少、效率高，而且结果快捷、准确、形象。正因为如此，电子仿真被许多高校引入到电路实验（含电子电工实验、电路分析实验、模拟电路实验、数字电路实验、电力电路实验等）的辅助教学中，形成虚拟实验和虚拟实验室。在这里，实验环境是虚拟的，即模型化了的实验环境。实验过程也是理想化的模拟过程，没有真实元器件参数的离散和变化，没有仪器精度变化带来的影响等。总之，一切干扰和影响都被排除了，实验结果反映的是实验的本质过程，因而准确、真实、形象。

3. 系统分析

利用 EDA 技术及工具能对电路进行直流工作点分析、交流分析、瞬态分析、傅里叶分析、噪声分析、噪声图分析、失真分析、直流扫描分析、DC 和 AC 灵敏度分析、参数扫描分析、温度扫描分析、转移函数分析、极点-零点分析、最坏情况分析、蒙特卡罗分析、批处理分析、用户自定义分析、反射频率分析，等等。

1.3 EWB 与 Multisim

Multisim 是一个完整的设计工具系统，提供了一个庞大的元件数据库，并提供原理图输入接口、全部的数模 SPICE（Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis）仿真功能、VHDL/Verilog 设计接口与仿真功能、FPGA/CPLD 综合、RF 射频设计能力和后处理功能，还可以进行从原理图到 PCB 布线工具包（如：Electronics Workbench 的 Ultiboard）的无缝数据传输。它提供的单一易用的图形输入接口可以满足使用者的设计需求。Multisim 提供全部先进的设计功能，满足使用者从参数到产品的设计要求。因为程序将原理图输入、仿真和可编程逻辑紧密集成，所以使用者可以放心地进行设计工作，不必顾及不同供应商的应用程序之间传递数据时经常出现的问题。

NI Multisim 10 是美国 NI 公司最近推出的 Multisim 新版本，是该公司电子线路仿真软件的最新版本。

NI Multisim 10 用软件的方法虚拟电子与电工元器件以及电子与电工仪器和仪表，通过软件将元器件和仪器集合为一体。它是一个原理电路设计、电路功能测试的虚拟仿真软件。NI Multisim 10 的元器件库提供数千种电路元器件供实验选用。同时也可以新建或扩展已有的元器件库，而且建库所需的元器件参数可以从生产厂商的产品使用手册中查到，因此可很方便地在工程设计中使用。NI Multisim 10 的虚拟测试仪器/仪表种类齐全，有一般实验用的通用仪器，如万用表、函数信号发生器、双踪示波器、直流电源等，还有一般实验室少有或者没有的仪器，如波特图仪、数字信号发生器、逻辑分析仪、逻辑转换器、失真仪、安捷伦多用表、安捷伦示波器、泰克示波器等。NI Multisim 10 具有较为详细的电路分析功能，可以完成电路的瞬态分析、稳态分析等各种电路分析方法，以帮助设计人员分析电路的性能。它还可以设计、测试和演示各种电子电路，包括电工电路、模拟电路、数字电路、射频电路及部分微机接口电路等。该软件还具有强大的 Help 功能，其 Help 系统不仅包括软件本身的

操作指南，更重要的是包含有元器件的功能说明。**Help** 中这种元器件功能说明有利于使用 NI Multisim 10 进行 CAI 教学。

利用 NI Multisim 10 可以实现计算机仿真设计与虚拟实验，与传统的电子电路设计与实验方法相比，具有如下特点：设计与实验可以同步进行，可以边设计边实验，修改调试方便；设计和实验用的元器件及测试仪器仪表齐全，可以完成各种类型的电路设计与实验；可以方便地对电路参数进行测试和分析；可以直接打印输出实验数据、测试参数、曲线和电路原理图；实验中不消耗实际的元器件，实验所需元器件的种类和数量不受限制，实验成本低，实验速度快，效率高；设计和实验成功的电路可以直接在产品中使用。

NI Multisim 10 易学易用，便于通信工程、电子信息、自动化、电气控制等专业学生学习和进行综合性的设计、实验，有利于培养综合分析能力、开发能力和创新能力。NI Multisim 10 同时也适用于从事电子相关行业的人员。

第2章 Multisim 10 元件库

任何一个电子仿真软件都要有一个供仿真用的元器件数据库（习惯上称为元件库），元件库中仿真元件的数量多少将直接影响该软件的使用范围，而模型的质量则影响着设计结果的准确性。这就好比要完成一个实际的电路设计，首先必须有一定数量的元器件供挑选，而这些元器件质量的好坏会影响整个电路的性能指标。同时，即使有了性能优越的元器件，还需对元件本身的性能指标、连接方式等有一个正确的应用，才能得到一个最佳的电路。本章将介绍 NI Multisim 10 教育版中元件库与元件的运用、编辑处理和元件更新等内容。

2.1 Multisim 10 元件库及其使用

启动 View 菜单中的 Toolbars→Components 命令，见图2.1，其中显示 Multisim 包含的多个元件库，如图2.2所示。

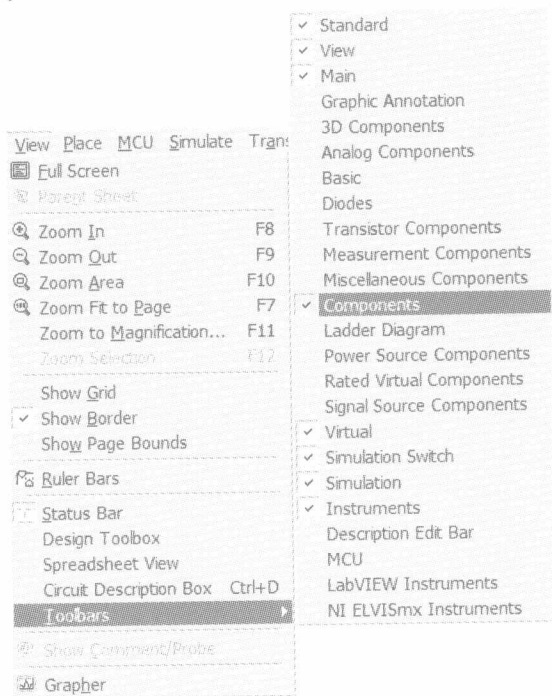


图 2.1 Toolbars→Components 命令



图 2.2 元件库

从结构上分, NI Multisim 10 主要包含以下三个数据库。

Multisim Database 也称 Multisim Master, 用来存放程序自带的元件模型, Multisim 为用户提供的大量且较为精确的元器件模型都放在其中。随版本的不同, Multisim Database 中含有的仿真元件的数量也不一样, 增强专业版大约有 16 000 个, 专业版约有 12 000 个, 教育版约有 6000 个, 而学生版仅有 500 个。对于这些仿真元件, 用户可以随意调用。NI 公司还通过其网站或代理商给正版用户不定期地提供 Multisim Database 库中元件模型的扩充和元件更新服务。

User Database 用来存放用户使用 Multisim 提供的编辑器自行开发的元件模型, 或者修改 Multisim Database 中已有的某个元件模型的某些信息, 将变动了元器件信息的模型存放于此, 供用户使用。

Corporate Database 仅在专业版中有效, 用于多人共同开发项目时建立共用的元件库。教育版中没有此项。

NI Multisim 10 教育版的 Multisim Database 中含有 14 个元器件分类库 (即 Component), 每个库中又含有 3 至 30 个元件箱 (又称为 Family), 各种电路仿真元器件分门别类地放在这些元件箱中供用户调用。User Database 和 Corporate Database 在 Multisim 使用之初是空的, 只有在用户创建或修改了元件并存放于该库后才能有元件供调用。

在实际应用过程中, 如何正确地运用好元件库中的每一个元件也是一项非常重要的工作, 如器件间的连接和参数的设置等问题。不同的器件常有一定的差异或特殊要求, 如 CMOS 类器件, 在有些仿真设计中, 在其电路中必须有一个适当数值的 V_{DD} 电源和一个数字接地端。 V_{DD} 和数字接地端既可以与某些器件相连, 也可以示意性放置在电路中。为了便于读者更好地运用好这些元器件, 下面将对它们使用方法及某些注意点进行适当介绍。这方面的问题读者也可以参考 Multisim 的在线帮助 (Help) 文件。如用户已安装了附带的 PDF 文件 “User Guide Appendices”, 也可以从中得到帮助。

2.1.1 电源库

电源库 (Sources) 中共有 62 个电源器件, 有为电路提供电能的功率电源, 有作为输入信号的各式各样的信号源及产生电信号转变的控制电源, 还有 1 个接地端和 1 个数字电路接地端。Multisim 把电源类的器件全部当做虚拟器件, 因而不能使用 Multisim 中的元件编辑工具对其模型及符号等进行修改或重新创建, 只能通过自身的属性对话框对其相关参数直接进行设置。在将电路文件输出给 PCB 版图设计等程序时, 不输出电源 (不管是独立源还是受控源及接地端)。

该部分元器件主要分为以下几个部分。

1. 功率源 (Power Sources)

接地元件电压均为 0 V, 为计算电子值提供了一个参考点。如果需要, 可以使用多个接地元件, 所有连接到接地元件的端都表示同一个点, 视为连接在一起。

(1) 接地端 (Ground)

在电路中, “地” 是一个公共参考点, 电路中所有的电压都是相对于该点而言的电势差。

在一个电路中,原则上讲应该有一个且只能有一个“地”。在 Multisim 电路图上可以同时调用多个接地端,但它们的电位都是 0 V。并非所用电路都需接地,但以下两种情况应该考虑接地:(a)运算放大器、变压器、各种受控源、示波器、波特指示器及函数发生器等必须接地(对示波器而言,如电路中已有接地端,示波器的接地端可不接地);(b)含模拟和数字元件的混合电路也必须接地。

Multisim 支持多点接地系统,所以接地连线都直接连到了地平面上。

(2) 数字接地端 (Digital Ground)

在实际数字电路中,许多数字元件需要接上直流电源才能正常工作,而在原理图中并不直接表示出来。为更接近于现实, Multisim 在进行数字电路的“Real”仿真时,电路中的数字元件要接上示意性的电源,数字接地当做该电源的参考点。

注意,数字接地端只用于含有数字元件的电路,通常不能与任何器件相接,仅示意性地放置于电路中。要接 0 V 电位,还是用一般接地端。

(3) V_{CC} 电压源 (V_{CC} Voltage Source)

直流电压源的简化符号,常用于为数字元件提供电能或逻辑高电平。双击其符号,打开 DigitalPower 对话框可以对其数值进行设置,正值和负值均可。但应注意如下几点。

① 同一个电路只能有一个 V_{CC}。如有另一个数字电源,可打开 DigitalPower 对话框,修改其 RefDes,如改为 V_{CC1}。

② V_{CC} 用于为数字元件提供能源时,可以示意性地放置于电路中,不必与任何器件相连。但如电路中已有与电路相接的 V_{CC},这个示意性 V_{CC} 则不必再设。

③ 也可以当做直流电源作用于模拟电路。

(4) V_{DD} 电压源 (V_{DD} Voltage Source)

与 V_{CC} 基本相同。当为 CMOS 器件提供直流电源进行“Real”仿真时,只能用 V_{DD}。

(5) 直流电压源 (DC Voltage Source)

在 Multisim 中这是一个理想直流电压源,与实际电源不同之处在于,使用时允许短路,但电压值将降为 0。

该电压源的取值范围从 pV 到 TV 不等。

提示:在 Multisim 中电池是没有阻抗的。如果希望使用电池与其他电池或者开关并联的话,就需要插入一个 1 mW 的电阻器与它串联。

电池容差默认为 global tolerance (在 Analysis→Monte Carlo 对话框中定义)。如果要明确设置容差,取消选择 Use global tolerance,并在 voltage tolerance 栏内输入一个数值。

(6) 交流电压源 (AC Power)

这是一个理想交流电压源,其频率取值范围从 pHz 到 THz 不等,电压范围从 pV 到 TV 不等。

(7) V_{SS} 电压源

为 CMOS 器件提供直流电源。

(8) V_{EE} 电压源

与数字接地端基本相同。

(9) Three Phase Delta

该元件能够提供一个三相的功率源。三个输出引脚提供 120° 相位移动。用户可以自行

定义幅度、频率和延时时间。这个部分在功率应用方便显示了突出优势。Delta type 连接里配置了三正弦波源。

(10) Three Phase Wye

该元件能够提供一个三相的功率源。用户可以自定义幅度、频率和延时时间。第四个连接作为不确定连接（可接地，或者不平衡下载的返回线）。

(11) 非理想电源 (NON_IDEAL_BATTERY)

该元件不是理想的电源，可以设置其内阻和电池容量。

2. 信号电压源 (Signal Voltage Sources)

(1) 交流电压源 (AC Voltage Source)

这是一个正弦交流电压源，电压显示的数值是其有效值（均方根值），如有正弦电压 $u = 10 \times 1.414 \sin(2\pi \times 50t + 45) \text{ V}$ ，设置参数应为：10 V/50 Hz/45 Deg。其属性对话框中的 Voltage 是指最大值，而 Voltage RMS 则是有效值，两者只需设置其一，程序会自动给出另一个。

(2) 时钟电压源 (Clock Voltage Source)

实质上是一个幅度、频率及占空比均可调节的方波发生器，常作为数字电路的时钟触发信号，其参数值在其属性对话框中设置。

(3) 调幅电压源 (AM Voltage)

调幅电压源（受单一频率幅度调制的信号源）能够产生一个受正弦波调制的调幅信号源，它可以用来建立和分析通信电路。其表达式为：

$$V_o = V_c \sin 2\pi f_c t (1 + m \sin 2\pi f_m t)$$

其中， V_c 为载波幅度； f_c 为载波频率； m 为调制指数； f_m 为调制频率。

(4) 调频电压源 (FM Voltage Source)

受单一频率调制的信号源，能产生一个频率可调制的电压波形。其表达式为：

$$V_o = V_a \sin[2\pi f_c t + m \sin(2\pi f_m t)]$$

其中， V_a 为峰值幅度； f_c 为载波频率； m 为调制指数； f_m 为调制频率。

(5) 脉冲电压源 (Pulse Voltage Source)

脉冲电压源是一种输出脉冲参数可配置的周期性电源，可设置的脉冲参数有 Initial Value（初始值）、Pulsed Value（脉冲值）、Delay Time（延时时间）、Rise Time（上升时间）、Fall Time（下降时间）、Pulse Width（脉冲宽度）、Period（周期）等。打开其属性对话框即可进行设置，如图2.3所示。

(6) 指数电压源 (Exponential Voltage Source)

指数电压源也是一种可配置性电源，其输出的指数信号参数可适当设置。可改变的参数有 Initial Value（初始值）、Pulsed Value（脉冲值）、Rise Delay Time（上升延时时间）、Rise Time（上升时间）、Fall Delay time（下降延时时间）、Fall Time（下降时间）。打开其属性对话框即可进行参数设置，如图2.4所示。

(7) 分段线性电压源 (Piecewise Linear Voltage Source)

简称 PWL 电源，通过插入不同的时间及电压值，可控制输出电压的波形形状，每对时

间/电压数值决定从该时刻起输出的新波形（大小），直到下一对时间/电压对应的时刻，然后按新的时间/电压值对输出电压波形。



图 2.3 脉冲电压源属性



图 2.4 指数电压源属性

双击该电源符号，打开其属性对话框，如图2.5所示。



图 2.5 分段线性电压源属性

从属性对话框中可以看出，实现分段线性信号的方式有以下两种。

（a）Open Data File：即读入专门格式的表达式时间/电压数值的文本文件，用这些数据，PWL 源产生文本文件所规定的电压波形。产生文本的方法是：进入 Multisim 之前（或退出 Multisim 之后），在电路窗口的空白处单击右键。弹出对话框，选中“新建（N）”项中的“文