



普通高等教育“十三五”规划教材
电子信息科学与工程类专业规划教材

EDA技术与设计

◆ 花汉兵 吴少琴 编著

Electronic Information
Science and Engineering



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十三五”规划教材
电子信息科学与工程类专业规划教材

EDA 技术与设计

花汉兵 吴少琴 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本教材从教学的角度出发,尽可能将有关 EDA 技术的内容编入书中。为此,本书结合模拟电路和数字电路,系统地介绍了四种常用 EDA 工具软件: Multisim、PSpice、QuartusII、Vivado,以及两类硬件描述语言: VHDL、Verilog HDL,并将现代电子设计的新思想和新方法贯穿其中。全书共 9 章,主要包括: Multisim 软件基本应用、常用模拟电路 Multisim 设计与仿真、PSpice 软件基本应用、模拟系统 PSpice 设计与仿真、QuartusII 软件功能及其设计开发过程、Vivado 软件功能及其设计开发过程、硬件描述语言、常用数字电路 HDL 设计、数字系统 EDA 设计与实践。

本书紧密地将理论和实际相结合,注重提高学生分析问题和解决问题的能力,可作为高等学校电子信息、通信、自动控制、计算机应用等专业本科生 EDA 设计相关课程的教材,也可作为研究生和电子设计工程技术人员的参考书。

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

EDA 技术与设计 / 花汉兵, 吴少琴编著. —北京: 电子工业出版社, 2019.3

ISBN 978-7-121-35910-1

I. ①E… II. ①花… ②吴… III. ①电子电路—电路设计—计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. ①TN702.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 011502 号

责任编辑: 韩同平 特约编辑: 李佩乾 等

印 刷: 三河市君旺印务有限公司

装 订: 三河市君旺印务有限公司

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: 19.25 字数: 616 千字

版 次: 2019 年 3 月第 1 版

印 次: 2019 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 55.90 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, 88258888。

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

本书咨询联系方式: 010-88254525, hantp@phei.com.cn。

前 言

EDA 技术是将计算机技术应用于电子电路设计过程的一门新技术,在通信、自动控制以及计算机应用等领域的重要性日益突出。适应 EDA 技术发展和 EDA 技术实验教学的要求,体现新技术、新方法等现代实验技术手段,使学生更好更快地掌握 EDA 设计技术,培养科技需求下具有系统设计能力和解决问题能力的综合性人才,为从事各类电子设备和信息系统的设计、制造、应用等工作奠定基础,本书就是基于以上考虑而编写的。

本书总结了近年来实验教学改革的经验,将教学成果体现在教材之中。通过 EDA 设计实践课程,加深学生对模拟电路、数字电路课程知识的理解和巩固,并着力提高学生在 EDA 技术方面的实践和应用能力,同时有助于后续相关课程的学习和参加各种电子设计竞赛。

全书共 9 章,主要内容涵盖 EDA 技术的设计工具和设计应用。第 1 章讲解 Multisim 软件的基本应用,包括软件简介、虚拟仪器仪表的使用、仿真分析方法等;第 2 章讲解单级放大电路、差动放大电路、负反馈放大器、阶梯波发生器等常用模拟电路 Multisim 设计与仿真;第 3 章讲解 PSpice 软件的基本应用,包括软件简介、工作流程、分析方法、独立信号源设置等;第 4 章讲解音频放大器、数字温度计、小型函数信号发生器等模拟系统 PSpice 设计与仿真;第 5 章讲解 Quartus II 软件的功能及其设计开发过程,并介绍宏功能模块的设计与应用;第 6 章讲解 Vivado 软件的功能及其设计开发过程,并介绍存储器 IP 核的生成;第 7 章讲解硬件描述语言,包括 VHDL 语言的基本组成、基本要素、基本描述语句,以及 Verilog HDL 语言基本结构、基本要素、基本描述语句等;第 8 章讲解组合逻辑电路、时序逻辑电路、有限状态机设计等常用数字电路 HDL 设计;第 9 章结合具体实例介绍了循环冗余校验码、通用异步收发器、VGA 彩色信号显示控制等数字系统 EDA 设计方法,并安排了多功能数字钟、直接数字频率合成器、等精度频率计等 EDA 设计项目。

本教材结合模拟电路和数字电路课程,从教学的角度出发,尽量将有关 EDA 技术的内容编入书中。模拟电路 EDA 设计部分,给出了典型电路的仿真与分析,内容丰富,有利于学习者对模拟电路课程知识的理解与巩固;数字电路 EDA 设计部分,介绍了软硬件设计过程,给出了典型电路设计实例,着力提高学习者在 EDA 技术方面的实践与应用能力;系统介绍了四种常用 EDA 工具软件:Multisim、PSpice、Quartus II、Vivado,以及两类硬件描述语言:VHDL、Verilog HDL,并将现代电子设计的新思想和新方法贯穿其中。读者可以根据实际需要,选学书中的部分内容。

附录 A 给出了 SmartSOPC+_3C25、Basys3、EGO1 等实验平台的硬件接口与核心板芯片 IO 口之间的匹配关系,本书第 5 章到第 9 章的相关设计内容可基于但不局限于这些开发平台完成相应电路的实现。

本书第 1 章到第 4 章由吴少琴编写,第 5 章到第 9 章由花汉兵编写,全书由花汉兵负责内容组

织和统稿等工作。在本书编写过程中得到了同事们的极大支持和帮助，在此向王建新教授、蒋立平教授以及所有给予帮助的老师表示深切的谢意。

本书是在总结多年 EDA 教学经验的基础上精心编写而成的，但限于编著者水平，书中错误和不妥之处在所难免，真诚地希望同行和广大读者提出批评和改进意见 (huahbg@163.com)。

说明：本书与仿真软件有关的电路及其内容叙述所涉及变量的正斜体、大小写、下标等，图、文不完全一致；与国家规范要求，不完全一致；但不影响读者的学习及对内容的掌握。

编著者

于南京理工大学

目 录

绪论	1
----	---

第 1 章 NI Multisim 14.0 基本应用	4
-----------------------------	---

1.1 NI Multisim 14.0 简介	4
1.1.1 Multisim 的发展	4
1.1.2 NI Multisim 14.0 新特性	5
1.1.3 NI Multisim 14.0 编译环境	6
1.2 虚拟仪器仪表的使用	15
1.2.1 常用虚拟仿真仪器的使用	16
1.2.2 模拟电子电路中常用虚拟仪器的使用	20
1.2.3 数字逻辑电路中常用虚拟仪器的使用	25
1.2.4 通信电子电路中常用虚拟仪器的使用	30
1.2.5 安捷伦和泰克仿真仪器的使用	32
1.3 仿真分析方法	35
1.3.1 基本分析方法	36
1.3.2 进阶分析方法	43
1.3.3 高级分析方法	52
1.3.4 组合分析	58

第 2 章 常用模拟电路 Multisim 设计与仿真	61
-----------------------------	----

2.1 单级放大电路设计与仿真	61
2.2 差分放大电路设计与仿真	72
2.3 负反馈放大器设计与仿真	78
2.4 阶梯波发生器设计与仿真	84

第 3 章 Cadence/OrCAD PSpice 16.6 基本应用	93
--------------------------------------	----

3.1 Cadence/OrCAD PSpice 16.6 简介	93
----------------------------------	----

3.1.1 PSpice 起源	93
3.1.2 PSpice 的特点	94
3.1.3 Cadence/OrCAD PSpice 组件	95
3.1.4 PSpice 16.6 新增功能	96

3.2 Cadence/OrCAD PSpice 16.6 工作流程	101
3.3 PSpice A/D 的分析方法	105
3.3.1 基本分析方法	106
3.3.2 进阶分析方法	113
3.4 独立信号源的设置	121

第 4 章 模拟系统 PSpice 设计与仿真	127
-------------------------	-----

4.1 音频放大器设计	127
4.2 数字温度计设计	133
4.3 小型函数信号发生器设计	141

第 5 章 QuartusII 软件应用	151
----------------------	-----

5.1 Quartus II 软件概述与设计流程	151
5.2 设计输入	152
5.2.1 工程项目建立	152
5.2.2 设计文件建立	155
5.3 项目编译	160
5.4 设计仿真	161
5.5 引脚分配	166
5.6 编程下载	169
5.7 可参数化宏功能模块	171

第 6 章 Vivado 软件应用	178
-------------------	-----

6.1 Vivado 软件概述	178
6.2 基本设计流程	178
6.2.1 工程建立	179
6.2.2 设计输入	181
6.2.3 设计仿真	187

6.2.4 工程综合	193	第 8 章 常用数字电路 HDL 设计	235
6.3 引脚分配与程序下载	194	8.1 组合逻辑电路的 HDL 描述	235
6.3.1 引脚分配	194	8.1.1 编码器	235
6.3.2 程序下载	200	8.1.2 译码器	238
6.4 存储器 IP 核的生成	203	8.1.3 数据选择器	242
第 7 章 硬件描述语言	206	8.1.4 加法器	244
7.1 VHDL 语言的基本组成	206	8.1.5 数值比较器	244
7.1.1 库	207	8.2 时序逻辑电路的 HDL 描述	246
7.1.2 程序包	208	8.2.1 触发器	246
7.1.3 实体	209	8.2.2 计数器	249
7.1.4 结构体	209	8.2.3 移位寄存器	252
7.1.5 配置	211	8.2.4 分频器	254
7.2 VHDL 语言的基本要素	211	8.3 有限状态机设计的 HDL 描述	258
7.2.1 标识符	211	8.3.1 Mealy 型有限状态机	258
7.2.2 数据对象	211	8.3.2 Moore 型有限状态机	260
7.2.3 VHDL 语言运算符	212	第 9 章 数字系统 EDA 设计与实践	263
7.2.4 属性描述与定义	214	9.1 循环冗余校验码的 EDA 设计	263
7.3 VHDL 语言基本描述语句	214	9.2 通用异步收发器的 EDA 设计	278
7.3.1 顺序语句	214	9.3 VGA 彩色信号显示控制的 EDA 设计	285
7.3.2 并行语句	216	9.4 多功能数字钟的 EDA 设计	290
7.4 Verilog HDL 基本结构	219	9.5 直接数字频率合成器的 EDA 设计	291
7.5 Verilog HDL 语言的基本要素	223	9.6 等精度频率计的 EDA 设计	293
7.5.1 词法约定	223	附录 A 核心板 FPGA 管脚分配	295
7.5.2 数据类型	223	A.1 SmartSOPC+_3C25 核心板 FPGA 管脚分配	295
7.5.3 运算符	225	A.2 Basys3 核心板 FPGA 管脚分配	298
7.6 Verilog HDL 语言基本描述 语句	227	A.3 EGO1 核心板 FPGA 管脚分配	299
7.6.1 赋值语句	227	参考文献	301
7.6.2 结构说明语句	228		
7.6.3 块语句	230		
7.6.4 条件语句	230		
7.6.5 循环语句	232		

绪 论

现代电子设计技术的核心已日趋转向基于计算机的电子设计自动化 (EDA, Electronic Design Automation) 技术。EDA 技术以计算机作为工作平台, 融合了应用电子技术、计算机技术、信息处理及智能化技术的最新成果, 进行电子产品的自动设计。电子设计人员可以从概念、算法、协议等开始设计电子系统, 大量工作可以通过计算机完成, 并可以将电子产品从电路设计、性能分析到设计出 IC 版图或 PCB 版图的整个过程在计算机上自动处理完成。

1. EDA 技术的发展历程

EDA 技术从出现至今, 大致可分为三个阶段:

(1) 20 世纪 70 年代为计算机辅助设计 (CAD) 阶段。人们开始用计算机辅助进行 IC 版图编辑、PCB 布局布线, 使得电子设计师从传统的高度重复繁杂的手工绘图劳动中解脱出来。

(2) 20 世纪 80 年代被称为计算机辅助工程 (CAE) 阶段。这个时期的主要特征是, 以逻辑模拟、定时分析、故障仿真、自动布局布线为核心, 重点解决电路设计的功能检测等问题, 使设计能在产品制作之前预知产品的功能与性能。与 CAD 相比, CAE 除了有纯粹的图形绘制功能外, 又增加了电路功能设计和结构设计, 并且通过电气连接网络表将两者结合在一起, 实现了工程设计。CAE 的主要功能是: 原理图输入, 逻辑仿真, 电路分析, 自动布局布线, PCB 后分析。

(3) 20 世纪 90 年代是电子设计自动化 (EDA) 阶段。这一阶段出现了以高级描述语言、系统级仿真和综合技术为特征的 EDA 技术, 设计前期的许多高层次设计由 EDA 工具来完成。EDA 软件工具能够帮助人们设计电子电路或系统, 该工具可以在电子产品的各个设计阶段发挥作用, 使设计更复杂的电路和系统成为可能。在原理图设计阶段, 可以使用 EDA 中的仿真工具论证设计的正确性; 在芯片设计阶段, 可以使用 EDA 中的芯片设计工具设计制作芯片的版图; 在电路板设计阶段, 可以使用 EDA 中电路板设计工具设计多层电路板。特别是支持硬件描述语言的 EDA 工具的出现, 使复杂数字系统设计自动化成为可能, 只要用硬件描述语言将数字系统的行为描述正确, 就可以进行该数字系统的芯片设计与制造。

进入 21 世纪以后, EDA 技术得到了更大的发展。在硬件实现方面, EDA 技术融合了大规模集成电路制造技术、IC 版图设计技术、FPGA/CPLD 编程下载技术等; 在工程实现方面, EDA 技术融合了计算机辅助设计、计算机辅助制造、计算机辅助测试、计算机辅助工程技术及多种计算机语言的设计概念。现代 EDA 技术已经不是某一学科的分支或某种新的技能技术, 而应该是一门综合性学科, 代表了现代电子设计技术与应用技术的发展方向。

2. EDA 设计工具

EDA 工具在 EDA 技术中占据极其重要的位置, 正朝着功能强大、简单易学、使用方便的方向发展。常见的 EDA 软件有: PSpice、Cadence、EWB、Multisim、MAX+plus II、Quartus II、ISE、Vivado 等, 下面介绍几种在教学和科学研究中常用的 EDA 工具软件。

(1) PSpice 软件

PSpice 是由 SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) 发展而来的用于微机系

列的通用电路分析程序,于1972年由美国加州大学伯克利分校的计算机辅助设计小组利用FORTRAN语言开发而成,主要用于大规模集成电路的计算机辅助设计。1998年著名的EDA商业软件开发商ORCAD公司与Microsim公司正式合并,自此Microsim公司的PSpice产品正式并入ORCAD公司的商业EDA系统中。与传统的SPICE软件相比,PSpice在三个方面实现了重大变革:①在对模拟电路进行直流、交流和瞬态等基本电路特性分析的基础上,实现了蒙特卡罗分析、最坏情况分析以及优化设计等较为复杂的电路特性分析。②不但能够对模拟电路进行仿真,而且能够对数字电路、数/模混合电路进行仿真。③集成度大大提高,电路图绘制完成后可直接进行电路仿真,并且可以随时分析观察仿真结果。

PSpice软件具有强大的电路图绘制功能、电路模拟仿真功能、图形后处理功能和元器件符号制作功能,以图形方式输入,自动进行电路检查,生成图表,模拟和计算电路。它的用途非常广泛,不仅可以用于电路分析和优化设计,还可用于电子线路、电路、信号与系统等课程的计算机辅助教学。与印制板设计软件配合使用,还可实现电子设计自动化。它被公认为是通用电路模拟程序中最优秀的软件,具有广阔的应用前景。

(2) Multisim 软件

Multisim是美国国家仪器(NI)有限公司推出的以Windows为基础的仿真工具,适用于板级的模拟/数字电路板的设计工作。它包含了电路原理图的图形输入、电路硬件描述语言输入方式,具有丰富的仿真分析能力。通过Multisim和虚拟仪器技术,PCB设计工程师和电子学教育工作者可以完成从理论到原理图捕获与仿真再到原型设计和测试这样一个完整的综合设计流程。

Multisim计算机仿真与虚拟仪器技术可以很好地解决理论教学与实际动手实验相脱节问题,可以很方便地把刚刚学到的理论知识用计算机仿真真实地再现出来,并且可以用虚拟仪器技术创造出真正属于自己的仪表。Multisim软件具有:①直观的图形界面。整个操作界面就像一个电子实验工作台,绘制电路所需的元器件和仿真所需的测试仪器均可直接拖放到屏幕上,操作鼠标可用导线将它们连接起来,软件仪器的控制面板和操作方式都与实物相似,测量数据、波形和特性曲线如同在真实仪器上看到的。②丰富的元器件。提供了世界主流元件供应商的超过17000多种元件,同时能方便地对元件各种参数进行编辑修改,能利用模型生成器以及代码模式创建模型等功能,创建自己的元器件。③强大的仿真能力。以SPICE3F5和Xspice的内核作为仿真的引擎,通过Electronic workbench带有的增强设计功能将数字和混合模式的仿真性能进行优化。包括SPICE仿真、RF仿真、MCU仿真、VHDL仿真、电路向导等功能。④丰富的测试仪器。在仪器仪表库中还提供了万用表、信号发生器、瓦特表、示波器、波特仪、字信号发生器、逻辑分析仪、逻辑转换仪、失真度分析仪、频谱分析仪、网络分析仪、伏安特性分析仪、伏特表和安培表等虚拟仪器仪表。

(3) Quartus II 软件

Quartus II是Altera公司继MAX+plus II之后推出的新一代功能强大的EDA工具,提供了EDA设计的综合开发环境,是EDA设计的基础。Quartus II集成环境支持EDA设计的设计输入、编译、综合、布局、布线、时序分析、仿真、编程下载等设计过程;支持多种编辑输入法,包括图形编辑输入法,文本(VHDL、Verilog HDL和AHDL)编辑输入法,符号编辑输入法和内存编辑输入法等。

Quartus II作为一种可编程逻辑的设计环境,由于其强大的设计能力和直观易用的接口,越来越受到数字系统设计者的欢迎。Quartus II提供了完全集成且与电路结构无关的开发包环境,具有数字逻辑设计的全部特性,包括:①可利用原理图、结构框图、Verilog HDL、AHDL和VHDL完成电路描述,并将其保存为设计实体文件。②功能强大的逻辑综合工具。③完备的电路功能仿真与时序逻辑仿真工具。④可使用SignalTap II逻辑分析工具进行嵌入式的逻辑分析。⑤支持软件源文件的添加和创建,并将它们链接起来生成编程文件。⑥能生成第三方EDA软件使用的VHDL网表文件和Verilog网表文件。

(4) Vivado 软件

Vivado 设计套件, 是 FPGA 厂商赛灵思公司于 2012 年发布的集成设计环境。包括高度集成的设计环境和新一代从系统到 IC 级的工具, 这些均建立在共享的可扩展数据模型和通用调试环境基础上。这也是一个基于 AMBA AXI4 互联规范、IP-XACT IP 封装元数据、工具命令语言 (TCL)、Synopsys 系统约束 (SDC), 以及其他有助于根据客户需求量身定制设计流程并符合业界标准的开放式环境。赛灵思构建的 Vivado 工具把各类可编程技术结合在一起, 能够扩展多达 1 亿个等效 ASIC 门的设计。

为了解决集成的瓶颈问题, Vivado 设计套件采用了用于快速综合和验证 C 语言算法 IP 的 ESL 设计, 实现重用的标准算法和 RTL IP 封装技术, 模块和系统验证的仿真速度提高了 3 倍, 与此同时, 硬件协仿真性能提升了 100 倍。为了解决实现的瓶颈, Vivado 工具采用层次化器件编辑器和布局规划器, 速度提高了 3~15 倍, 且为 SystemVerilog 提供了业界最好支持的逻辑综合工具, 速度提高了 4 倍且确定性更高的布局布线引擎, 以及通过分析技术可最小化时序、线长、路由拥堵等多个变量的“成本”函数。对于 Vivado 来说, 设计的全部流程完全在一个工具中, 综合时就可以考虑整个设计网表, 在设计各个阶段都需要检查各种约束文件, 设计的整体性得到保证。Vivado 的一个重要更新, 就是其软件的设计与 FPGA 设计/调试方法非常的契合, 比如, 如果 I/O 管脚或者综合产生问题, Vivado 会反复提示用户在进行 implementation 之前的定位问题, 以便尽早解决问题。

3. EDA 设计过程

EDA 技术的范畴应包括电子工程师进行产品开发的全过程。EDA 技术可分为系统级、电路级和物理实现级三个层次的设计过程, 这里主要介绍系统级设计和电路级设计。

(1) 系统级设计

系统级设计是设计人员针对设计目标进行功能描述, 而无须通过门级原理图描述电路。由于摆脱了电路细节的束缚, 设计人员可以把精力集中于创造性的方案与概念的构思上, 一旦这些概念构思以高层次描述的形式输入计算机, EDA 系统就能以规则驱动的方式自动完成整个设计。这样, 新的概念就能迅速有效地成为产品, 大大缩短了产品的研制周期。不仅如此, 高层次设计只是定义系统的行为特性, 可以不涉及实现工艺, 因此还可以在厂家综合库的支持下, 利用综合优化工具将高层次描述转换成针对某种工艺优化的网络表, 使工艺转化变得轻而易举。

(2) 电路级设计

电路级设计是在电子工程师接受系统设计任务后, 确定设计方案, 选择合适的元器件, 根据具体的元器件设计电路原理图。进行第一次仿真, 其中包括数字电路的逻辑模拟、故障分析, 模拟电路的交直流分析、瞬态分析。主要检验设计方案在功能方面的正确性。仿真通过后, 根据原理图产生的电气连接网络表进行 PCB 板的自动布局布线。在制作 PCB 板之前还可以进行 PCB 后分析, 其中包括热分析、噪声及窜扰分析、电磁兼容分析、可靠性分析等, 根据结果参数修改电路图, 进行第二次仿真, 主要是检验 PCB 板在实际工作环境中的可行性。

设计人员借助计算机开发软件的帮助, 将设计过程的许多细节问题抛开, 将注意力集中在产品的总体开发上, 从而大大减轻设计人员的工作量, 提高了设计效率, 缩短了设计周期。

理工科高校开设 EDA 课程, 主要是让学生了解 EDA 的基本概念和基本原理, 掌握 EDA 设计的基本方法和步骤, 使用 EDA 工具进行电子电路课程的实验验证和系统电路设计, 为今后工作打下基础。EDA 技术已经成为电子设计的重要工具和现代电路设计师的重要武器, 正在发挥着越来越重要的作用。

第 1 章 NI Multisim 14.0 基本应用

随着电子信息产业的飞速发展, 计算机技术在电子电路设计中发挥着越来越大的作用。电子产品的设计开发手段也从传统的设计和简单的计算机辅助设计 (CAD) 逐步被 EDA (Electronic Design Automation) 技术所取代。目前国内针对电子电路原理图开发与仿真的 EDA 软件有: NI Multisim、Cadence\PSpice、Altium Designer 等。本章重点介绍 NI Multisim 最新版本 14.0 的基本操作方法和仿真功能。

1.1 NI Multisim 14.0 简介

NI Multisim 是美国国家仪器 (National Instrument, 简称 NI) 有限公司推出的以 Windows 系统为基础的仿真工具, 适用于板级的模拟/数字电路板的设计工作。它包含了电路原理图的图形输入、电路硬件描述语言输入方式, 具有丰富的仿真分析能力。

1.1.1 Multisim 的发展

Multisim 系列仿真软件的前身是 EWB (Electrical Workbench), 该软件是加拿大 IIT (Interactive Image Technologies) 公司在 20 世纪 80 年代后期推出的用于电子电路设计与仿真的 EDA 软件, 它以界面形象直观、操作方便、分析功能强大、易学易用而得到迅速推广。

1996 年 IIT 推出 EWB 5.0 版本, 之后 IIT 对 EWB 进行了较大改动, 名称改为 Multisim (多功能仿真软件), 并于 2001 年推出系列化 EDA 软件 Multisim 2001、Ultiboard 2001 和 Commsim 2001。其中 Multisim 2001 保留了 EWB 软件的界面直观、操作方便、易学易懂的特点, 增强了软件的仿真测试和分析功能, 允许用户自定义元器件的属性, 可将一个子电路当作元器件使用。

2003 年 8 月, IIT 公司又对 Multisim 2001 进行了较大改进, 升级为 Multisim 7.0。增加了 3D 元器件以及安捷伦的万用表、示波器和函数信号发生器等仿真实物的虚拟仪表, 使得虚拟电子设备更接近实际的实验平台。2004 年 IIT 公司相继推出了 Multisim 8.0、8.X 等版本, Multisim 8.X 与 Multisim 7.0 相比, 除了将电阻单位由 “Ohm” 改为常用的 “ Ω ”, 和增加了一些元器件, 并没有太大区别。

2005 年, IIT 公司被 NI 公司收购, 并于同年 12 月推出了 Multisim 9.0。该版本与之前的版本有着本质的区别, 第一次增加了单片机和三维先进的外围设备, 并且还虚拟仪器软件完美结合, 提高了模拟及测试性能。

2007 年, NI Multisim 10.0 面世, 名称在原来的基础上添加了 NI, 除在电子仿真方面有诸多提高, 在 LabVIEW 技术应用方面有增强外, MultiMCU 在单片机中的仿真、MultiVHDL 在 FPGA 和 CPLD 中的仿真应用、Multi Verilog 在 FPGA 和 CPLD 中的仿真应用、Commsim 在通信系统中的仿真应用等方面的功能同样得到增强。

2010 年 NI Circuit Design Suite 11.0 发布, 包含了 NI Multisim 和 NI Ultiboard 产品。引入全新设

计的原理图网表系统，改进了虚拟接口，通过更快地操作大型原理图，缩短文件加载时间，节省用户打开用户界面的时间。NI Multisim 捕捉和 NI Ultiboard 布局之间的设计同步化比以前更好。

2012 年 3 月，NI 又推出了 NI Multisim 12.0，该版本与 LabVIEW 进行了前所未有的紧密集成，可实现模拟和数字系统的闭环仿真。将虚拟仪器技术的灵活性扩展到电子设计者的工作平台上，弥补了测试与设计功能之间的缺口，缩短了产品研发周期。

2013 年，NI Multisim 13.0 发布，提供了针对模拟电子技术、数字电子技术以及电力电子技术的全面电路分析工具，帮助工程师通过混合模式仿真探索设计决策，优化电路行为。

2015 年，NI Multisim 14.0 面世，进一步增强了仿真功能，新增了全新的参数分析、嵌入式硬件集成以及通过用户自定义模板简化设计等。

1.1.2 NI Multisim 14.0 新特性

(1) 增加主动分析模式

工具栏中增加了新的主动分析按钮，并显示当前的仿真分析方法，如     AC sweep 表示当前仿真分析方法是交流扫描分析。全新的主动分析模式可以更快地获得仿真结果和运行分析。同时去除了原来版本中 Simulate→Analyses and simulation 表示各种分析方法的菜单，改成显示如图 1.1 所示的对话框。

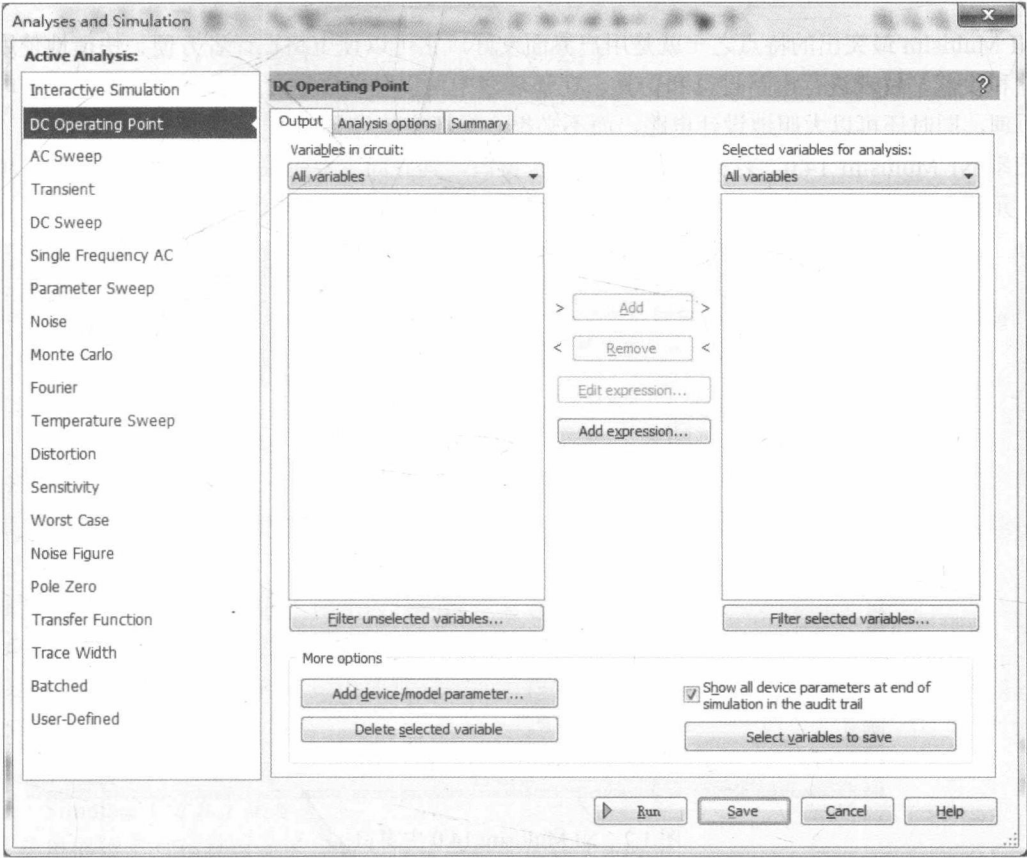


图 1.1 仿真分析方法对话框

NI Multisim 14.0 将之前版本的 AC analysis（交流分析）改名为 AC Sweep（交流扫描）分析，更准确地反映其功能。

(2) 增加电压、电流和功率探针

菜单栏中增加了电压、电流、功率探针 ，只要在读取的节点上放置一个探针，在图 1.1 所示的对话框中选择分析方法，然后单击对话框或模拟工具栏中的“运行”按钮，就可以得到该节点的交互仿真结果。

(3) 支持粘贴和放置更多格式的图像

在放置图形或粘贴剪贴板时，NI Multisim 14.0 支持更多的图像格式，包括：位图文件格式 (*.bmp)；JPEG 格式 (*.jpg、*.jpeg、*.jpe、*.jfif)；GIF 格式 (*.GIF)；标签图像文件格式 (*.TIF、*.TIFF)；便携式网络图形文件格式 (*.PNG)；图标文件格式 (*.ICO)；游标文件格式 (*.CUR。)等。

(4) 先进的电源设计

借助来自 NXP 和美国国际整流器公司开发的全新 MOSFET 和 IGBT，可搭建先进的电源电路。

(5) 增加 6000 多种新组件

借助领先半导体制造商的新版和升级版仿真模型，可扩展模拟和混合模式应用。

(6) 基于 NI Multisim 14.0 和 MPLAB 的微控制器设计

借助 NI Multisim 14.0 与 MPLAB 之间的新协同仿真功能，使用数字逻辑搭建完整的模拟电路系统和微控制器。

1.1.3 NI Multisim 14.0 编译环境

NI Multisim 最突出的特点之一就是用户界面友好，它可使电路设计者方便、快捷地使用虚拟元器件和仪器、仪表进行电路设计和仿真。在该环境中可以精确地进行电路分析，深入理解电子电路的原理，同时还可以大胆地设计电路，而不必担心损坏实验设备。

启动 NI Multisim 14.0，打开图 1.2 所示的主窗口。其界面主要由菜单栏、标准工具栏、项目管理器、元器件工具栏、仿真工作区、信息窗口、虚拟仪器工具栏等组成。

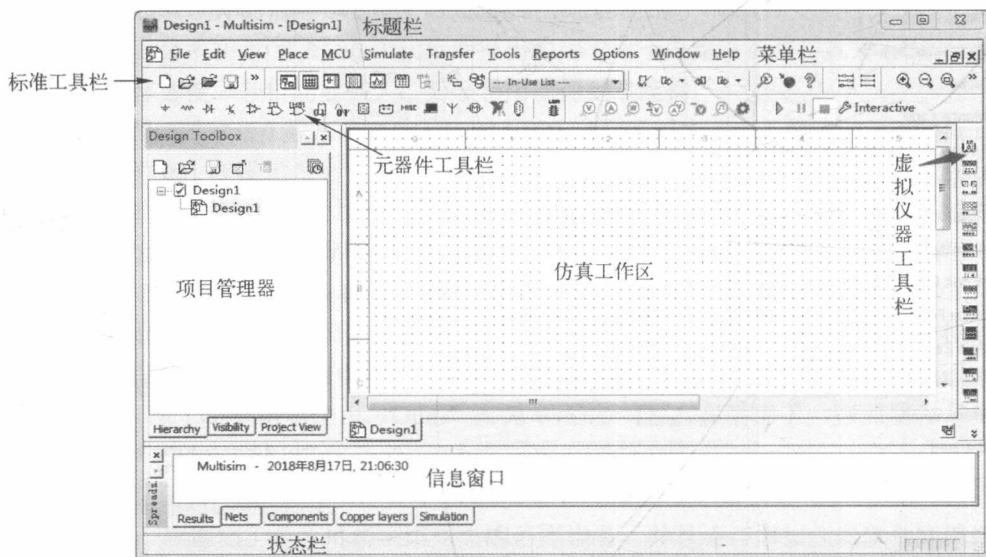


图 1.2 NI Multisim 14.0 主窗口

菜单栏：软件的所有功能命令均可在此查找；

标准工具栏：包含常用的功能命令；

项目管理器：用于宏观管理设计项目中的不同类型文件，如原理图文件、PCB 文件和报告清单文件，同时可以方便地管理分层次电路；

元器件工具栏：通过该工具栏选择和放置元器件到原理图中；
仿真工作区：设计人员创建、设计、编辑电路图和仿真分析的区域；
信息窗口：方便快速地显示所编辑元器件的参数，如封装、参考值、属性等，设计人员可以通过该窗口改变部分元器件的参数；
虚拟仪器工具栏：提供了所有仪器的功能按钮。

1. 菜单栏

(1) File（文件）菜单

该菜单提供了文件的打开、新建、保存等操作，如图 1.3 所示。

	New...	Ctrl+N	建立新的Multisim电路
	Open...	Ctrl+O	打开已存在的电路
	Open samples...		打开Multisim电路示例
	Close		关闭当前电路图文件
	Close all		关闭所有已打开的文件
	Save	Ctrl+S	保存当前电路图文件
	Save as...		将当前电路图另存为其他文件名
	Save all		保存所有已打开的电路图文件
	Export template...		输出作为模板
	Snippets		▶ 片段分享
	Projects and packing		▶ 项目和打包
	Print...	Ctrl+P	打印
	Print preview		打印预览
	Print options		▶ 打印选项设置
	Recent designs		▶ 最近打开的电路图文件
	Recent projects		▶ 最近打开的工程项目文件
	File information	Ctrl+Alt+I	当前文件属性
	Exit		退出并关闭Multisim程序

图 1.3 File 菜单

(2) Edit（编辑）菜单

该菜单用于在电路绘制过程中，对电路和元器件进行剪切、粘贴等编辑操作，如图 1.4 所示。

(3) View（视图）菜单

该菜单用于控制仿真界面上显示内容的操作命令，如图 1.5 所示。

(4) Place（放置）菜单

该菜单提供了在电路工作窗口内放置元器件、连接器、总线和文字等命令，如图 1.6 所示。

(5) MCU（微控制器）菜单

该菜单提供在电路工作窗口内 MCU 的调试操作命令，如图 1.7 所示。

(6) Simulate（仿真）菜单

该菜单提供了与仿真有关的设置与操作命令，如图 1.8 所示。

其中 Analyses and simulation 选项将在后面介绍仿真分析方法时详细介绍。

(7) Transfer（转换）菜单

该菜单提供了将原理电路图传送到其他工具的命令，如图 1.9 所示。

Undo	Ctrl+Z	取消前一次操作
Redo	Ctrl+Y	恢复前一次操作
Cut	Ctrl+X	剪切所选择的元器件, 放在剪切板中
Copy	Ctrl+C	复制所选择的元器件, 放在剪切板中
Paste	Ctrl+V	将剪切板中的元器件粘贴到指定的位置
Paste special		将剪切板的元器件粘贴到子电路
Delete	Delete	删除所选内容
Delete multi-page...		删除多页面电路文件中的某一页
Select all	Ctrl+A	选中当前全部电路图
Find	Ctrl+F	查找电路图上的元器件
Merge selected buses...		合并所选的总线
Graphic annotation		图形注释选项
Order		改变所选元件的叠放次序
Assign to layer		指定所选的层为注释层或文本等
Layer settings		层设置
Orientation		对元件进行旋转和翻转
Align		多种元件的对齐
Title block position		设置元器件符号或标题栏
Edit symbol/title block		编辑元器件符号或标题栏
Font		字体设置
Comment		表单设置
Forms/questions		编辑电路有关的其他问题
Properties	Ctrl+M	打开属性对话框

图 1.4 Edit 菜单

Full screen	F11	全屏显示电路窗口
Parent sheet		显示母电路图
Zoom in	Ctrl+Num +	放大电路窗口
Zoom out	Ctrl+Num -	缩小电路窗口
Zoom area	F10	放大所选区域
Zoom sheet	F7	显示整张电路图
Zoom to magnification...	Ctrl+F11	按所设倍率放大
Zoom selection	F12	以所选器件为中心放大
Grid		电路图显示栅格
☒ Border		显示电路边界
☒ Print page bounds		显示打印的图纸边界
Ruler bars		显示标尺
Status bar		显示状态栏
☒ Design Toolbox		显示项目管理器的窗口
☒ Spreadsheet View		显示信息视图的窗口
SPICE Netlist Viewer		显示SPICE网络表查看器
LabVIEW Co-simulation Terminals		显示 LabVIEW 协同仿真终端
Circuit Parameters		显示电路参数的窗口
Description Box	Ctrl+D	显示电路窗口的描述框
Toolbars		选择显示相应工具栏
Show comment/probe		显示注释/探针
Grapher		显示仿真结果的图表

图 1.5 View 菜单

<u>C</u> omponent...	Ctrl+W	选择和放置元件
<u>P</u> robe		▶ 放置电压、电流、功率等探针
✚ <u>J</u> unction	Ctrl+J	放置节点
<u>W</u> ire	Ctrl+Shift+W	放置连线
<u>B</u> us	Ctrl+U	放置总线
<u>C</u> onnectors		▶ 放置相应的连接器
<u>N</u> ew hierarchical block...		新建层次电路模块
📁 <u>H</u> ierarchical block from file...	Ctrl+H	从文件中获取层次电路
↔ <u>R</u> eplace by hierarchical block...	Ctrl+Shift+H	用层次电路模块替代所选电路
<u>N</u> ew subcircuit...	Ctrl+B	建立一个新的子电路
<u>R</u> eplace by subcircuit...	Ctrl+Shift+B	用子电路代替所选电路
<u>N</u> ew PLD subcircuit...		新建PLD子电路
<u>N</u> ew PLD hierarchical block...		新建PLD层次电路模块
<u>M</u> ulti-page...		增加多页电路
<u>B</u> us vector connect...		放置总线矢量连接
<u>C</u> omment		放置提示注释
<u>T</u> ext	Ctrl+Alt+A	放置文本
<u>G</u> raphics		▶ 放置线、折线、矩形等图形
📏 <u>C</u> ircuit parameter legend		放置电路参数标签
<u>T</u> itle block...		放置标题栏
☰ <u>P</u> lace Ladder Rungs		放置梯形图

图 1.6 Place 菜单

<u>N</u> o MCU component found	没有找到MCU元器件
<u>D</u> ebug view format	▶ 调试视图格式
📄 <u>M</u> CU windows...	显示MCU窗口
📏 <u>L</u> ine numbers	显示线路数目
● <u>P</u> ause	暂停
➡ <u>S</u> tep into	单步前进
➡ <u>S</u> tep over	单步跨过
➡ <u>S</u> tep out	单步退出
➡ <u>R</u> un to cursor	运行到光标处
📍 <u>T</u> oggle breakpoint	设置断点
🗑️ <u>R</u> emove all breakpoints	删除所有中断点

图 1.7 MCU 菜单

▶ <u>R</u> un	F5	运行当前电路的仿真
<u>P</u> ause	F6	暂停当前的仿真
■ <u>S</u> top		停止当前的仿真
🔧 <u>A</u> nalyses and simulation		设置仿真分析方法
<u>I</u> nstruments		▶ 放置各种虚拟仪器
<u>M</u> ixed-mode simulation settings...		混合模式仿真的设置
⚙️ <u>P</u> robe settings...		探针设置
↔ <u>R</u> everse probe direction		反转探针方向
<u>L</u> ocate reference probe		定制基准探针
<u>N</u> I-ELVIS II simulation settings		NI ELVIS II 仿真设置
📄 <u>P</u> ostprocessor...		对电路分析进行后处理
<u>S</u> imulation error log/audit trail...		仿真错误记录/审计追踪
<u>X</u> SPICE command line interface...		显示XSPICE命令行窗口
<u>L</u> oad simulation settings...		加载仿真设置
<u>S</u> ave simulation settings...		保存仿真设置
<u>A</u> utomatic fault option...		自动设置电路故障选项
<u>C</u> lear instrument data		清零仪器测量数据
<u>U</u> se tolerances		使用元器件容差设置

图 1.8 Simulate 菜单

Transfer to Ultiboard	▶ 传送到Ultiboard
Forward annotate to Ultiboard	▶ 创建Ultiboard注释文件
Backward annotate from file...	从注释文件中返回
Export to other PCB layout file...	导出到其他PCB制图软件
Export SPICE netlist...	输出SPICE网络表
Highlight selection in Ultiboard	高亮显示Ultiboard电路所选元件

图 1.9 Transfer 菜单

(8) Tools (工具) 菜单

该菜单提供了各种元器件和电路编辑或管理的命令，如图 1.10 所示。

Component wizard	创建元件向导
Database	▶ 对元件库进行管理、保存、转换或合并
Circuit wizards	▶ 为555定时器、滤波器、运放、共射放大器提供设计向导
SPICE netlist viewer	▶ SPICE网络表查看器
Advanced RefDes configuration...	元件序号的配置
Replace components...	元件替换
Update components...	更新元器件
Update sub-sheet symbols	更新子电路符号
Electrical rules check...	电气规则检查
Clear ERC markers...	清除电气规则检查标记
Toggle NC marker	对电路未连接点进行标识或者删除标识
Symbol Editor	符号编辑
Title Block Editor	标题栏编辑器
Description Box Editor	打开电路描述编辑器
Capture screen area	电路图区域截图
View Breadboard	打开面包板视图
Online design resources	▶ 在线设计资源
Education website	打开教学网页

图 1.10 Tools 菜单

其中 View Breadboard 选项，可以打开如图 1.11 所示的面板设计窗口，可以在软件中将 3D 的元器件模拟插入面包板中，模拟实际面包板的布线。

(9) Reports (报表) 菜单

该菜单提供材料清单等报表生成命令，如图 1.12 所示。

(10) Options (选项) 菜单

该菜单提供电路界面和电路某些功能的设置，如图 1.13 所示。

选中 Sheet properties 选项，打开如图 1.14 所示页面设置对话框，在准备绘制电路图时需要对电路图页面的细节进行设置，如果没有改动，软件会按默认选项定制。

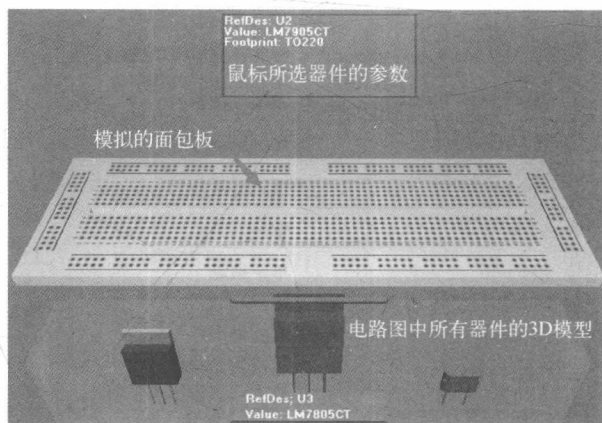


图 1.11 面包板设计窗口