

普通高等学校计算机类工程教育系列教材

# 计算机组成 虚拟仿真与题解

蔡政英 覃颖 陈慈发 胡少甫◎编著

中国科学技术大学出版社

普通高等学校计算机类工程教育系列教材

# 计算机组成 虚拟仿真与题解

蔡政英 覃颖 陈慈发 胡少甫◎编著

中国科学技术大学出版社

## 内 容 简 介

本书共 10 章,全面透彻地讲解了经典计算机,并行计算机以及生物、光、量子等新型非经典计算机组成的虚拟仿真设计方法,共设计了 43 个仿真实验、60 余道精选习题,各章节还对精选习题进行了详细解答,能够帮助读者熟练运用数学、自然科学和工程科学的基本原理,解决计算机组成领域的复杂工程问题。

本书提供配套学习资源,便于读者学习、研究、参考。

本书层次清晰、图文并茂、实例丰富、讲述详细,可作为高等院校计算机、自动化和电子工程等相关专业的本科生、研究生教材以及工程教育专业认证用书,也可供计算机研究人员和工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机组成虚拟仿真与题解/蔡政英,覃颖,陈慈发等编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2020. 1

ISBN 978-7-312-04813-5

I. 计… II. ①蔡… ②覃… ③陈… III. 计算机仿真—高等学校—题解 IV. TP391. 9-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 005520 号

出版 中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路 96 号,230026

<http://press.ustc.edu.cn>

<https://zgkxjdxcs.tmall.com>

印刷 安徽省瑞隆印务有限公司

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 787 mm×1092 mm 1/16

印张 14.5

字数 353 千

版次 2020 年 1 月第 1 版

印次 2020 年 1 月第 1 次印刷

定价 38.00 元

# 前 言

本书面向高等院校计算机、自动化和电子工程等相关专业的本科生及研究生,可作为普通高等院校“计算机组成原理”“计算机组织与结构”“计算机系统结构”等相关课程的实验教材和课程设计教材,也可作为工程教育专业认证用书以及研究生入学考试、计算机技术与软件资格(水平)考试的备考书籍。

本书借鉴了国内外相关的经典教材和资料,汲取了它们各自的优点,并具有以下特点:

一是本书着重使用虚拟仿真技术培养读者对计算机组成的设计能力和实验分析能力。全书共设计了43个实验,并配有大量图表。每个仿真实验均可以在普通计算机上使用软件完成,不需要构建昂贵的硬件实验平台,所有实验电路和代码都经过反复测试并成功实现。各实验项目均给出了详细的实验原理和步骤,一步步指导读者根据实验方案构建实验系统、安全开展实验、科学采集数据,并提供实验结果以供对照,实验结束后还设置了思考题。本书按层次和模块化结构组织内容,任何一个仿真实验都可以单独实现而不需要预先学习或依赖其他实验。

二是知识点全面,内容丰富,图文并茂,通俗易懂。各章节结尾还对经典习题进行了解答,全书共设置60余道典型习题,均精选于相关研究生入学考试、计算机技术与软件资格(水平)考试等试题中的典型分析题和设计题。能够帮助读者熟练运用自然科学和工程科学的基本原理,解决计算机领域的复杂工程问题。不同院校可以根据不同的教学目标对书中内容进行灵活取舍,不同层次读者也可根据自己学习、考试、研究等的需要选择相关内容进行阅读。

三是本书包含大量的新知识点和题型,与新技术、实际应用的结合较为紧密,比如并行计算、生物计算、光计算、量子计算等的仿真技术,帮助读者跟踪计算机新技术的发展动态,持续学习新知识,提升专业能力。

全书共10章,全面系统地讨论了计算机组成虚拟仿真的相关设计知识。第

1 章主要介绍 Multisim 14 的基础知识和计算机基本元器件的仿真。第 2 章主要讨论计算机数制体系的仿真,包括半加器、全加器、进制计数器、奇偶校验电路等。第 3 章主要讨论指令系统的仿真,包括定长/变长指令编码电路、汇编指令编程和 Huffman 编码等。第 4 章主要讨论使用组合逻辑控制器和微程序控制器对中央处理器进行设计仿真。第 5 章主要讨论 RAM/ROM 存储器、存储阵列译码、CPU 读写 RAM、磁盘/页面调度算法的仿真。第 6 章主要讨论并口/串口、多级中断处理、图形/语音的仿真电路。第 7 章主要讨论多处理机通信技术、多 CPU 和流水线等的仿真设计。第 8~10 章主要讨论 MATLAB 2018 的基本知识以及生物计算机、光计算机、量子计算机等的仿真技术。

本书主要由蔡政英、覃颖、陈慈发、胡少甫编写。屈静、左紫怡、熊泽平、卢梦园、张余、刘势、韩章义、万鲲鹏、林宇驰、刘萍萍、王蕊、刘璇等参加了文字录入和仿真设计工作,在此表示感谢。

本书借鉴了大量资料,有兴趣的读者可以进一步查阅书后的参考文献。

本书提供配套学习资源,有兴趣的读者可扫描书后二维码下载使用。

由于作者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编者

2019 年 8 月

# 目 录

前言 .....	( i )
第 1 章 绪论 .....	( 1 )
1.1 Multisim 基础 .....	( 1 )
1.2 仿真实验 .....	( 19 )
1.3 习题与解答 .....	( 29 )
第 2 章 数的表示与计算体系 .....	( 31 )
2.1 仿真实验 .....	( 31 )
2.2 习题与解答 .....	( 44 )
第 3 章 指令系统设计 .....	( 48 )
3.1 仿真实验 .....	( 48 )
3.2 习题与解答 .....	( 61 )
第 4 章 中央处理器体系结构设计 .....	( 66 )
4.1 仿真实验 .....	( 66 )
4.2 习题与解答 .....	( 88 )
第 5 章 存储器体系结构设计 .....	( 95 )
5.1 仿真实验 .....	( 95 )
5.2 习题与解答 .....	( 131 )
第 6 章 I/O 系统设计 .....	( 138 )
6.1 仿真实验 .....	( 138 )
6.2 习题与解答 .....	( 164 )
第 7 章 并行处理与普适计算 .....	( 166 )
7.1 仿真实验 .....	( 166 )
7.2 习题与解答 .....	( 187 )
第 8 章 生物计算机 .....	( 191 )
8.1 MATLAB 基础 .....	( 191 )
8.2 仿真实验 .....	( 195 )
8.3 习题与解答 .....	( 202 )
第 9 章 光计算机 .....	( 203 )
9.1 仿真实验 .....	( 203 )

9.2 习题与解答 .....	(212)
<b>第 10 章 量子计算机</b> .....	(213)
10.1 仿真实验 .....	(213)
10.2 习题与解答 .....	(220)
<b>参考文献</b> .....	(224)

# 第1章 绪 论

虚拟仿真(Virtual Simulation)技术也称系统模拟,可在一个系统上仿真或模仿另外一个更复杂的系统,通常包括硬件仿真和软件仿真。计算机组成虚拟仿真就是在计算机系统中创建一种可体验的计算机组成虚拟环境(Virtual Environment)。本书主要使用软件仿真方式在个人计算机上生成虚拟世界,再现真实世界中的计算机组成与结构,读者可借助Multisim、汇编语言、C/C++、MATLAB等软件,与虚拟世界中的计算机组成结构进行视觉、听觉等多通道的自然交互,以便更深入地了解 and 掌握计算机组成设计知识,解决计算机领域复杂工程问题。

## 1.1 Multisim 基础

### 1.1.1 主界面

Multisim 是美国国家仪器(National Instruments, NI)有限公司开发的基于 Windows 平台的电路仿真软件,具备电路原理图的图形化设计、电路硬件描述语言设计等方式,可用于各类模拟/数字电路的板级设计工作,具有丰富的仿真分析能力。本节将简单介绍 Multisim 14 用户界面的基本操作。

读者安装好 Multisim 14 软件后,单击“开始”→“程序”→“NI Launcher”→“NI Multisim 14.0”,启动 Multisim 14,启动成功后,可看到如图 1.1 所示的用户界面。

Multisim 14 用户界面由以下几个基本部分组成。

- (1) 主菜单(Menu Bar):提供了该软件的所有功能。
- (2) 工具栏(Toolbar):提供了该软件一些常用的功能。
- (3) 元器件库(Components Toolbar):提供了电路图中所需的各类元器件。
- (4) 仪器仪表工具栏(Instruments Toolbar):提供了 Multisim 14 的所有虚拟仪器仪表功能。
- (5) 设计窗口(Circuit Windows or Workspace):即电路工作区,该工作区是用来创建、编辑电路图以及进行仿真分析、显示波形的地方。
- (6) 设计工具箱(Design Toolbox):用于显示和操作设计文件。
- (7) 状态栏(Status Bar):用于显示当前的操作及鼠标指针所指项目的相关信息。

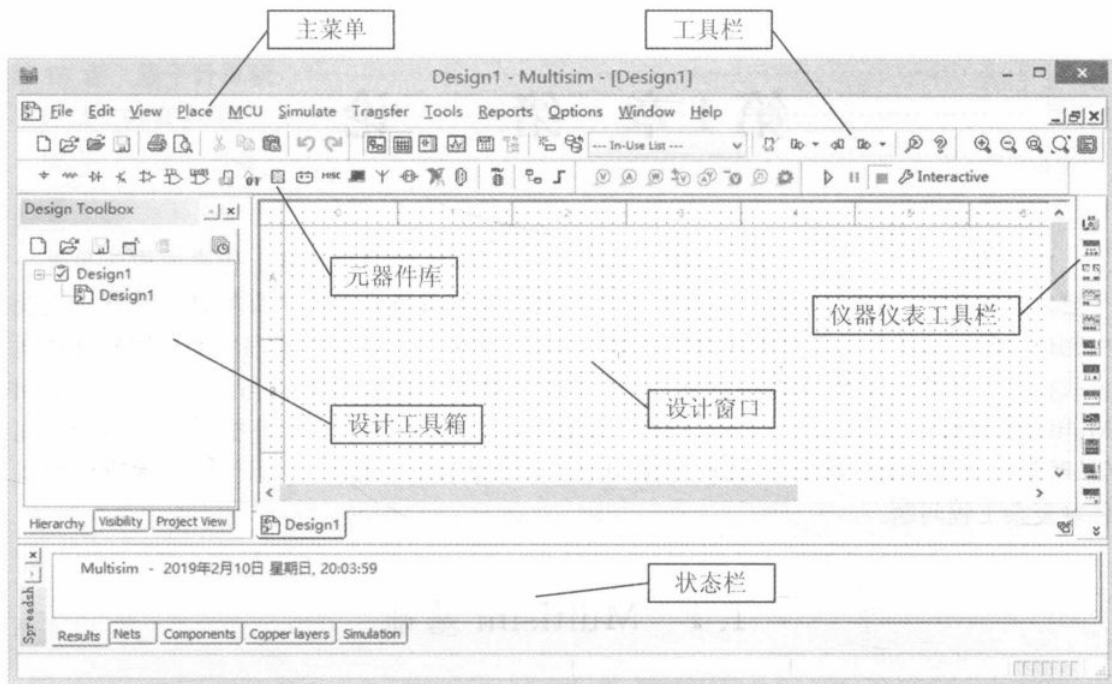


图 1.1 Multisim 14 用户界面

### 1.1.2 菜单介绍

Multisim 14 的菜单栏为用户提供操作该软件所需的全部功能,如图 1.2 所示。菜单栏从左到右依次为 File (文件)、Edit (编辑)、View (视图)、Place (放置)、MCU(单片机)、Simulate(仿真)、Transfer(转换)、Tools(工具)、Reports(报告)、Options(属性选项)、Window(窗口)、Help(帮助)。



图 1.2 Multisim 14 的菜单栏

#### 1. File(文件)菜单

该菜单用于对电路文件进行管理,具体功能如图 1.3 所示。

#### 2. Edit(编辑)菜单

该菜单用于对电路窗口中的电路图或元器件进行编辑操作,具体功能如图 1.4 所示。

#### 3. View(视图)菜单

该菜单用于显示或隐藏电路窗口中的某些内容(如电路图的放大/缩小、工具栏、栅格、页面边界等),具体功能如图 1.5 所示。

#### 4. Place(放置)菜单

该菜单提供在电路工作窗口内放置元器件、连接点、总线和文字等命令,具体功能如图 1.6 所示。

New...	Ctrl+N	新建Multisim电路图文件
Open...	Ctrl+O	打开Multisim电路图文件
Open samples...		打开Multisim电路图示例
Close		关闭
Close all		关闭所有
Save	Ctrl+S	保存
Save as...		保存为
Save all		保存所有
Export template...		输出模板
Snippets		代码片段
Projects and packing		项目和封装
Print...	Ctrl+P	打印
Print preview		打印预览
Print options		打印选项
Recent designs		最近打开的设计
Recent projects		最近打开的工程项目
File information	Ctrl+Alt+I	文件信息
Exit		退出

图 1.3 File(文件)菜单

Undo	Ctrl+Z	撤销
Redo	Ctrl+Y	恢复
Cut	Ctrl+X	剪切
Copy	Ctrl+C	复制
Paste	Ctrl+V	粘贴
Paste special		特殊粘贴
Delete	Delete	删除
Delete multi-page...		删除多页
Select all	Ctrl+A	全选
Find	Ctrl+F	查找
Merge selected buses...		合并选中的总线
Graphic annotation		图形注释修改
Order		注释排列顺序
Assign to layer		将注释指定到某层
Layer settings		图层设置
Orientation		元件转向
Align		对齐
Title block position		标题栏位置设置
Edit symbol/title block		编辑电路符号/标题栏
Font		修改字体
Comment		修改注释
Forms/questions		格式/问题
Properties	Ctrl+M	属性

图 1.4 Edit(编辑)菜单

Full screen	F11	全屏显示
Parent sheet		多页设计的顶页
Zoom in	Ctrl+Num +	放大
Zoom out	Ctrl+Num -	缩小
Zoom area	F10	局部放大
Zoom sheet	F7	适合页面的比例
Zoom to magnification...	Ctrl+F11	比例选择
Zoom selection	F12	选中电路放大
Grid		栅格
Border		显示图边框
Print page bounds		显示页边界
Ruler bars		显示标尺条
Status bar		显示状态条
Design Toolbox		显示设计工具箱
Spreadsheet View		分页查看
SPICE Netlist Viewer		SPICE网表查看器
LabVIEW Co-simulation Terminals		LabVIEW协同仿真终端
Circuit Parameters		电路参数
Description Box	Ctrl+D	说明框
Toolbars		工具栏管理
Show comment/probe		显示注释/探针
Grapher		图形编辑器

图 1.5 View(视图)菜单

Component...	Ctrl+W	放置元件
Probe		放置探针
Junction	Ctrl+J	放置节点
Wire	Ctrl+Shift+W	放置导线
Bus	Ctrl+U	放置总线
Connectors		放置层次结构中的连接器
New hierarchical block...		新建层次块
Hierarchical block from file...	Ctrl+H	在层次结构中放置电路
Replace by hierarchical block...	Ctrl+Shift+H	用层次块代替所选元件
New subcircuit...	Ctrl+B	新建子电路
Replace by subcircuit...	Ctrl+Shift+B	用子电路代替所选器件
Multi-page...		多页设置
Bus vector connect...		总线矢量连接
Comment		放置注释
Text	Ctrl+Alt+A	放置文本
Graphics		放置各种图形、图片
Circuit parameter legend		放置图名表
Title block...		放置标题信息栏

图 1.6 Place(放置)菜单

### 5. MCU(单片机)菜单

该菜单提供在电路工作窗口内放置 MCU 的调试操作命令,具体功能如图 1.7 所示。

No MCU component found	没有创建MCU器件
Debug view format	调试视图格式
MCU windows...	MCU调试窗口
Line numbers	行号
Pause	暂停
Step into	进入子函数
Step over	执行完子函数
Step out	跳出子函数
Run to cursor	运行到光标位置
Toggle breakpoint	设置断点
Remove all breakpoints	移除所有断点

图 1.7 MCU(单片机)菜单

## 6. Simulate(仿真)菜单

该菜单用于对电路仿真进行设置与操作,具体功能如图 1.8 所示。

▷ Run	F5	运行仿真
Pause	F6	暂停
■ Stop		停止
<hr/>		
🔗 Analyses and simulation		分析和仿真
I Instruments	▶	仪器设备
<hr/>		
Mixed-mode simulation settings...		混合模式仿真设置
<hr/>		
⚙ Probe settings...		探针设置
Reverse probe direction		反转探针方向
Locate reference probe		局部参考探针
<hr/>		
NI ELVIS II simulation settings		NI ELVIS II仿真设置
<hr/>		
📄 Postprocessor...		电路分析后处理
Simulation error log/audit trail...		仿真错误记录/查找索引
XSPICE command line interface...		XSPICE命令界面
<hr/>		
Load simulation settings...		加载仿真设置
Save simulation settings...		保存仿真设置
<hr/>		
Automatic fault option...		自动查错选项
<hr/>		
Clear instrument data		清除仪器数据
<hr/>		
Use tolerances		使用公差

图 1.8 Simulate(仿真)菜单

## 7. Transfer(转换)菜单

该菜单用于将 Multisim 14 的电路文件或仿真结果输出到其他应用软件,具体功能如图 1.9 所示。

▶ Transfer to Ultiboard	▶	传输到Ultiboard
▶ Forward annotate to Ultiboard	▶	注释到Ultiboard
📄 Backward annotate from file...		由文件反注释到Multisim
<hr/>		
Export to other PCB layout file...		输出到其他PCB布局文件
<hr/>		
Export SPICE netlist...		输出SPICE网表
<hr/>		
Highlight selection in Ultiboard		突出所选区域

图 1.9 Transfer(转换)菜单

### 8. Tools(工具)菜单

该菜单用于编辑或管理元器件库或元器件,具体功能如图 1.10 所示。



图 1.10 Tools(工具)菜单

### 9. Reports(报告)菜单

该菜单用于产生当前电路的各种报告,具体功能如图 1.11 所示。

### 10. Options(属性选项)菜单

该菜单用于给出电路图的各种属性参数,具体功能如图 1.12 所示。

Bill of Materials	当前电路图的元器件清单
Component detail report	元器件详细报告
Netlist report	元器件连接信息的网表报告
Cross reference report	元器件详细参数报告
Schematic statistics	统计报告
Spare gates report	电路中剩余门电路报告

图 1.11 Reports(报告)菜单

🌐 Global preferences	全局参数显示
Sheet properties	表单属性
✓ Lock toolbars	锁定工具条
Customize interface	自定义界面

图 1.12 Options(属性选项)菜单

### 11. Window(窗口)菜单

该菜单用于控制 Multisim 14 窗口的显示,具体功能如图 1.13 所示。

### 12. Help(帮助)菜单

该菜单为用户提供在线技术帮助和指导,具体功能如图 1.14 所示。



图 1.13 Window(窗口)菜单



图 1.14 Help(帮助)菜单

### 1.1.3 工具栏介绍

Multisim 14 工具栏主要包括标准工具栏(Standard Toolbar)、主工具栏(Main Toolbar)、视图工具栏(View Toolbar)、元器件工具栏(Components Toolbar)、虚拟仪器仪表工具栏(Instruments Toolbar)等。有的工具栏采用了活动窗口技术,所以对于不同的使用场景其显示也会有所不同(右键单击该工具栏可以选择不同的工具栏,单击该工具栏不放可以随意拖动)。

#### 1. 标准工具栏(Standard Toolbar)

功能如图 1.15 所示,其基本功能按钮与 File(文件)菜单中的电路文件管理功能类似。

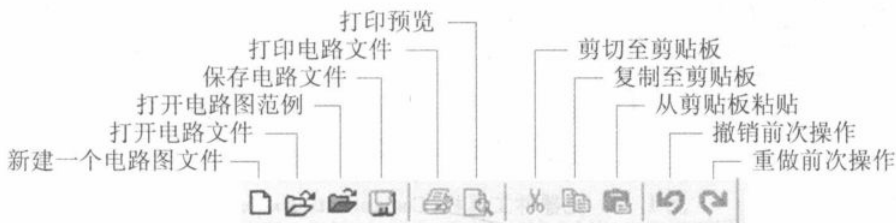


图 1.15 标准工具栏(Standard Toolbar)

#### 2. 主工具栏(Main Toolbar)

功能如图 1.16 所示,它包含了仿真常用的几个主要功能按钮。

#### 3. 视图工具栏(View Toolbar)

功能如图 1.17 所示,其基本功能按钮与 View(视图)菜单的视图管理功能类似。



图 1.16 主工具栏(Main Toolbar)



图 1.17 视图工具栏(View Toolbar)

#### 4. 元器件工具栏(Components Toolbar)

元器件工具栏各个图标所表示的含义如图 1.18 所示,其基本功能按钮与 Place(放置)菜单的元器件管理功能类似。

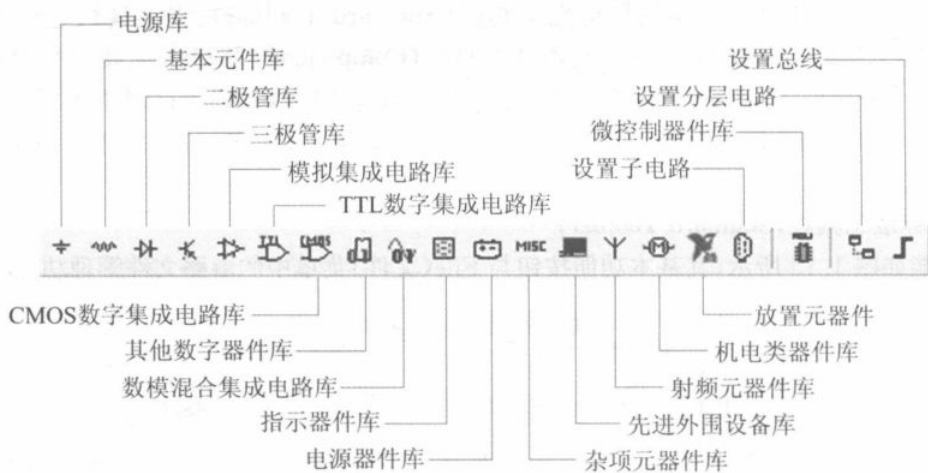


图 1.18 元器件工具栏(Components Toolbar)

#### 5. 探针工具栏(Probe Toolbar)

探针工具栏中的各个图标所表示的含义如图 1.19 所示。

#### 6. 运行工具栏(Run Toolbar)

运行工具栏中的各个图标所表示的含义如图 1.20 所示,其基本功能按钮与 Simulate(仿真)菜单的仿真控制功能类似。



图 1.19 探针工具栏(Probe Toolbar)



图 1.20 运行工具栏(Run Toolbar)

### 7. 虚拟仪器仪表工具栏(Instruments Toolbar)

虚拟仪器仪表工具栏通常位于窗口的右侧,也可以将其拖至菜单栏的下方显示为水平工具栏。使用时,单击所需仪器仪表的工具栏按钮,将该仪器仪表添加到电路窗口中,即可在电路窗口中使用该仪器仪表。虚拟仪器仪表工具栏各个按钮的功能如图 1.21 所示。

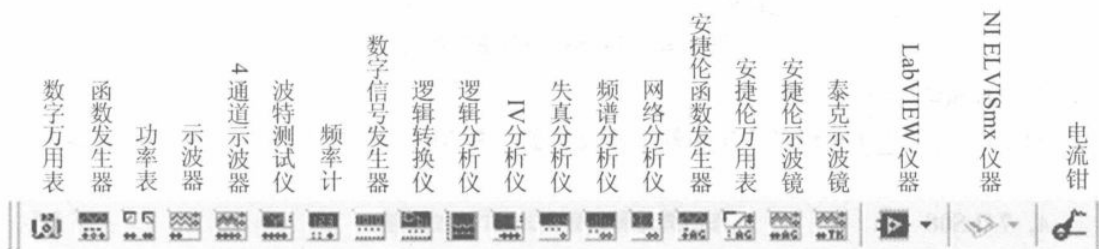


图 1.21 虚拟仪器仪表工具栏(Instruments Toolbar)

#### 1.1.4 常用芯片介绍

Multisim 14 内置了大量元器件和芯片库,限于篇幅,在此仅简介本书各章节实验将会用到的 Multisim 14 内置芯片的使用方法,各芯片的引脚封装和功能定义均以 Multisim 14 中的模块为准。不同厂家和不同型号规格的产品在封装和引脚功能定义上都有可能不同,读者在实际设计时请根据使用情况进行相应调整。本书中芯片功能符号定义包括:L 表示低电平,H 表示高电平,×表示不确定状态,Z 表示高阻态。

##### 1. 74LS00

74LS00 为使用正逻辑的四组 2 输入端与非门。其 Multisim 模型图以及真值表如图 1.22 所示。

##### 2. 74LS02

74LS02 为使用正逻辑的四组 2 输入端或非门。其 Multisim 模型图以及真值表如图 1.23 所示。

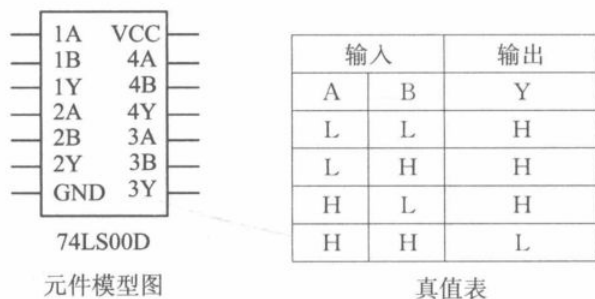


图 1.22 74LS00 模型图及真值表



图 1.23 74LS02 模型图及真值表

### 3. 74LS04

74LS04 为使用正逻辑的六组单输入端反相器。其 Multisim 模型图以及真值表如图 1.24 所示。

### 4. 74LS08

74LS08 为使用正逻辑的两组 2 输入端与门。其 Multisim 模型图以及真值表如图 1.25 所示。

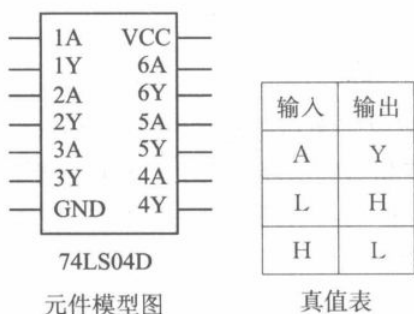


图 1.24 74LS04 模型图及真值表

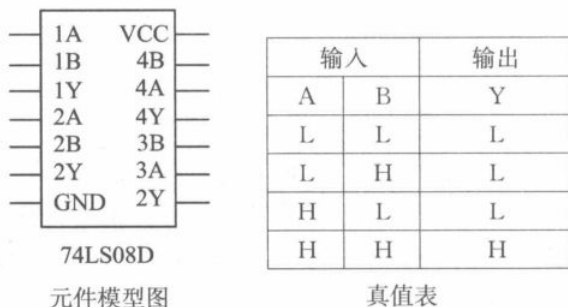


图 1.25 74LS08 模型图及真值表

### 5. 74LS20

74LS20 为使用正逻辑的两组 4 输入端与非门。其 Multisim 模型图以及真值表如图 1.26 所示。