

全国普通高等院校电子信息规划教材

数字电子技术仿真 实验教程

李学明 主编

孙东卫 高为将 李冬冬 副主编

清华大学出版社

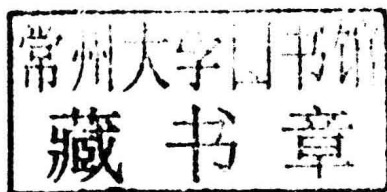


全国普通高等院校电子信息规划教材

数字电子技术仿真 实验教程

李学明 主编

孙东卫 高为将 李冬冬 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是配合高等学校“数字电子技术”课程而编写的一本教材。

书中首先介绍了 Multisim 10 的基本操作,然后介绍了各种数字逻辑电路的搭建和仿真过程。本书配有 160 多个仿真实验电路,需要者可登录清华大学出版社网站免费下载。

本书可作为高等院校电气、电子、通信、计算机、自动化和机电等专业的教辅、实验教材及参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术仿真实验教程/李学明主编. —北京:清华大学出版社,2012.7

(全国普通高等院校电子信息规划教材)

ISBN 978-7-302-28962-3

I. ①数… II. ①李… III. ①数字电路—电子技术—数字仿真—实验—教材 IV. TN79-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 113389 号

责任编辑:焦虹 顾冰

封面设计:傅瑞学

责任校对:胡伟民

责任印制:张雪娇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:11.5

字 数:288 千字

版 次:2012 年 7 月第 1 版

印 次:2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:23.00 元

产品编号:041890-01

前 言



电子技术是一门实践性很强的专业基础课,只有通过实验才能培养学生的动手能力和创新能力。传统的教学方式是:先由教师讲授理论知识,然后安排一定数量的实验让学生到实验室进行验证性实验,加深对理论知识的理解。各院校为了提高教学质量,培养学生的动手能力,配备了相应的实验室,购置了实验设备和昂贵的仪器、仪表。尽管如此,让所有的学生在实验室里完成各种实验仍是不可能的。Multisim 10 软件的使用,引发了电子技术教学和实验领域里的一场变革,只要在计算机中安装上 Multisim 10 软件,就相当于拥有了一个设备精良的电子实验室,提供了数以万计的电子元器件和各种仪器仪表,可以在仿真平台上搭接各种电路,接上相应的仪器、仪表,按下仿真开关,各种数据和波形马上就会呈现出来。“软件就是仪器”,利用 Multisim 10 软件,教师可以在多媒体教室中深入浅出地分析各种电路的特性,讲解各种参数改变对电路的影响,演示实验结果,根据需要随意控制。学生也可以自己动手设计仿真电路,通过实验得到结果。这种教学模式生动形象,不但能激发学生的学习兴趣,而且能加深学生的理解,提高教学质量,同时也降低了教学成本。这样的计算机模拟仿真实验,把电子技术的理论教学和实验教学有机地结合起来,为电子电路实际制作打下了良好的基础。

电子仿真软件 Multisim 10 的前身是加拿大 IIT(Interactive Image Technologies)公司于 20 世纪 80 年代末推出的电子设计自动化软件 EWB。随着时代的发展,EWB 软件也在不断地升级,名称定为 Multisim(意为多重仿真),并于 2001 年推出升级版 Multisim 2001,以后相继推出 Multisim 7 和 Multisim 8、Multisim 9 版本。后来 IIT 公司被美国国家仪器公司(National Instrument,NI)兼并,并与其代表产品 LabVIEW 软件相互嵌入支撑,于 2007 年推出最新仿真软件 Multisim 10。在安装 NI Multisim 10 软件的同时,也同时安装了与之配套的制版软件 NI Ultiboard 10。它彻底改变了传统设计电子产品的老方法,利用这个软件设计仿真好电子产品后可以无缝链接到 NI Ultiboard 10 中进行电路板的制作。

全书所有的仿真实例可以在清华大学网站上下载。

本书由李学明主编。其中,新疆轻工职业技术学院孙东卫副教授编写了第 3~5 章,江苏农林职业技术学院高为将编写了第 7 章,江苏农林职业技术学院李冬冬编写了第 8、9 两章,其余各章由李学明编写并统稿。

电子仿真软件 Multisim 博大精深,编著者对 Multisim 10 仿真软件学习和理解还不够深入,书中错误和不足在所难免,恳请专家、读者批评指正。

编者
2011.12

目 录



第 1 章 Multisim 10 的基本操作	1
1.1 Multisim 10 的用户界面及设置	1
1.1.1 Multisim 10 的启动	1
1.1.2 Multisim 10 基本界面简介	2
1.1.3 Multisim 10 基本界面的定制	3
1.2 Multisim 10 元器件库及其元器件	12
1.2.1 Multisim 10 的元器件库	12
1.2.2 元器件的查找	21
1.2.3 使用虚拟元器件	25
1.3 Multisim 10 虚拟仪器的使用	27
1.3.1 双通道示波器	28
1.3.2 四通道示波器	30
1.3.3 字信号发生器	33
1.3.4 逻辑分析仪	37
1.3.5 逻辑转换仪	39
1.3.6 函数信号发生器	42
1.4 建立仿真电路的基本操作	44
1.4.1 创建电路图文件	44
1.4.2 放置元器件	45
1.4.3 元器件布局	45
1.4.4 元器件的连线	48
1.4.5 图纸文字编辑	50
1.4.6 保存电路	52
第 2 章 逻辑代数	54
2.1 逻辑函数的仿真实验	54
2.1.1 基本逻辑函数及运算	54
2.1.2 几种常见的逻辑运算的仿真	58
2.2 逻辑代数基本定律的证明	61
2.2.1 摩根定律的证明	61
2.2.2 分配律的证明	63

2.2.3	反演规律的证明	63
2.2.4	代入规则	65
第3章 逻辑门电路		68
3.1	分立元件门电路	68
3.1.1	二极管门电路	68
3.1.2	三极管的开关特性	68
3.1.3	MOS管开关特性	69
3.1.4	分立元件门电路	71
3.2	TTL集成逻辑门电路的仿真	72
3.2.1	TTL非门的传输延迟时间	72
3.2.2	集电极开路门(OC门)	72
3.2.3	三态门(TS门)	74
3.2.4	TTL电路的灌电流负载和拉电流负载	75
3.3	CMOS集成逻辑门电路的仿真	76
3.3.1	CMOS反相器	76
3.3.2	其他类型CMOS门电路	76
第4章 组合逻辑电路的仿真		78
4.1	组合逻辑电路的分析与设计	78
4.1.1	组合逻辑电路的分析仿真实验	78
4.1.2	组合逻辑电路的设计仿真	78
4.2	编码器的仿真实验	80
4.2.1	3位二进制编码器的仿真	80
4.3	译码器的仿真实验	83
4.3.1	二进制译码器的仿真	83
4.3.2	二-十进制译码器的仿真	85
4.3.3	显示译码器	86
4.4	加法器和数值比较器的仿真	88
4.4.1	一位加法器	88
4.4.2	数值比较器	90
4.5	数据选择器和数据分配器的仿真	92
4.5.1	数据选择器的仿真	92
4.6	组合电路中的竞争冒险的仿真	95
4.6.1	产生负尖峰脉冲冒险	95
4.6.2	产生正尖峰的脉冲冒险	96
4.6.3	竞争冒险现象的消除	97

第 5 章 集成触发器的仿真实验	98
5.1 基本 RS 触发器的仿真	98
5.1.1 由与非门组成的 RS 触发器	98
5.1.2 由或非门组成的基本 RS 触发器	99
5.2 同步触发器的仿真	101
5.2.1 同步触发器的空翻转现象	101
5.3 边沿触发器的仿真	104
5.3.1 维持阻塞 D 触发器	104
5.3.2 边沿 JK 触发器	105
5.3.3 主从 JK 触发器	106
5.3.4 T 触发器和 T' 触发器	107
5.4 触发器之间的转换仿真	108
5.4.1 D 触发器转换为 T 和 T' 触发器	108
5.4.2 JK 触发器和 D 触发器之间互换	108
第 6 章 时序逻辑电路的仿真实验	112
6.1 异步计数器的仿真实验	112
6.1.1 异步二进制加法计数器	112
6.1.2 异步二进制减法计数器	113
6.1.3 异步十进制加法计数器的仿真	113
6.1.4 集成二进制异步计数器仿真	116
6.2 同步二进制计数器的仿真实验	118
6.2.1 同步二进制加法计数器的仿真	118
6.2.2 同步二进制减法计数器的仿真	119
6.2.3 集成同步二进制计数器 74LS161 和 74LS163	119
6.3 同步十进制计数器的仿真实验	123
6.3.1 8421BCD 码同步十进制加法计数器	123
6.3.2 集成同步十进制加法计数器 74LS160 和 74LS162	123
6.3.3 集成同步十进制加、减法计数器 74LS190 的仿真	125
6.4 集成计数器容量扩展的仿真	126
6.4.1 串行进位方式和并行进位方式	126
6.4.2 整体置 0 方式和整体置数方式	127
6.5 数码寄存器的仿真实验	128
6.5.1 4 位数码寄存器的仿真实验	128
6.5.2 移位寄存器的仿真实验	129
6.5.3 移位寄存器的应用仿真	131

第 7 章 脉冲信号的产生与整形的仿真实验	136
7.1 多谐振荡器的仿真实验	136
7.1.1 由门电路构成的多谐振荡器	136
7.1.2 石英晶体振荡器的仿真	137
7.1.3 555 定时器构成的多谐振荡器	137
7.1.4 555 定时器的应用	139
7.2 555 定时器的仿真实验	139
7.2.1 555 定时器逻辑功能的仿真测试	139
7.3 施密特触发器的仿真实验	142
7.3.1 用 555 定时器组成的施密特触发器	142
7.3.2 集成施密特触发器	143
7.3.3 施密特触发器的应用	144
7.4 单稳态触发器仿真实验	145
7.4.1 用 555 定时器组成的单稳态触发器	145
7.4.2 集成单稳态触发器的仿真	146
7.4.3 555 定时器作单稳态触发器的应用	148
第 8 章 D/A 转换与 A/D 转换的仿真实验	150
8.1 D/A 转换仿真实验	150
8.1.1 权电阻网络 D/A 转换器	150
8.1.2 R-2R 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	151
8.1.3 8 位集成 D/A 转换器仿真实验	151
8.2 A/D 转换仿真实验	152
8.2.1 8 位 A/D 转换电路仿真	152
8.3 综合应用 A/D 和 D/A 转换电路	154
第 9 章 综合设计与仿真	155
9.1 抢答器的仿真	155
9.1.1 4 路抢答器	155
9.1.2 数显八路抢答器	156
9.2 计数及显示电路	157
9.2.1 一位数的计数电路	157
9.2.2 两位数的计数电路	157
9.2.3 三位数的计数电路	157
9.3 彩灯循环控制器	159
9.3.1 十盏灯循环点亮	159
9.3.2 16 盏灯循环点亮	159

9.4 数字电子钟	161
9.4.1 数字电子钟	161
附录 A 常用数字集成电路索引	163
附录 B Multisim 10 元器件菜单栏及元器件库元器件速查	165
参考文献	174

第 1 章 Multisim 10 的基本操作

1.1 Multisim 10 的用户界面及设置

1.1.1 Multisim 10 的启动

安装 Multisim 10 软件之后,系统会在桌面和“开始”菜单栏两个位置放置该应用程序的快捷方式图标,因此选择下列两种方法之一均可以启动 Multisim 10 应用程序。

(1) 选择“开始”→“程序”→National Instrument→Circuit Design Suite 10.0→Multisim 10.0 命令。

(2) 双击桌面上的 Multisim 10 快捷图标。

启动 Multisim 10 程序后弹出如图 1-1 所示的 Multisim 10 软件的基本界面。

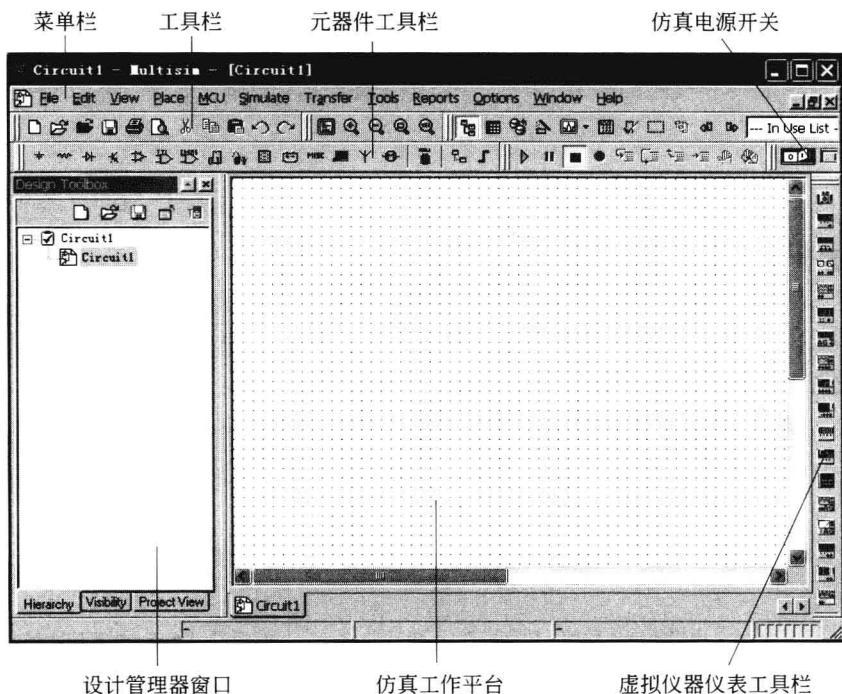


图 1-1 Multisim 10 的基本界面

1.1.2 Multisim 10 基本界面简介

Multisim 10 的基本界面由以下几部分组成：

1. 菜单栏

Multisim 10 的菜单栏提供了该软件的绝大部分功能命令，如图 1-2 所示。

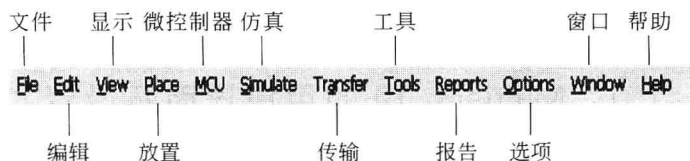


图 1-2 Multisim 10 菜单栏

2. 工具栏

Multisim 10 的工具栏中主要包括标准工具栏 (Standard Toolbar)、主工具栏 (Main Toolbar)、视图工具栏 (View Toolbar) 等。

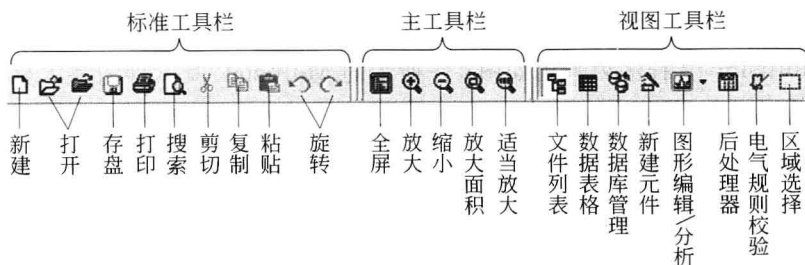


图 1-3 Multisim 10 的工具栏

3. 元器件工具栏

Multisim 10 将所有的元器件分为 16 类，加上分层模块和总线，共同组成元器件工具栏 (Component Toolbar)。单击每个元器件按钮，可以打开元器件库的相应类别。元器件库中的各个图标所表示的元器件含义如图 1-4 所示。

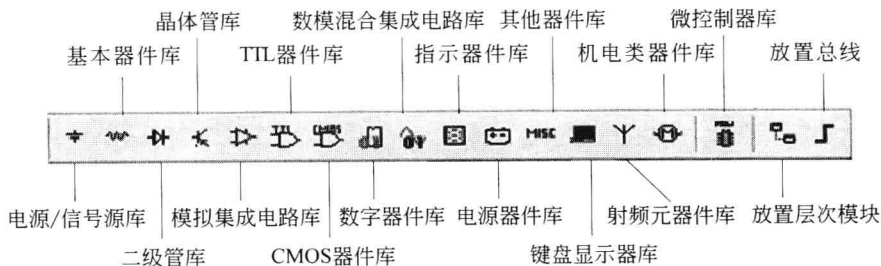


图 1-4 Multisim 10 的元器件工具栏

4. 虚拟仪器仪表工具栏

虚拟仪器仪表工具栏 (Instruments Toolbar) 通常位于电路窗口的右边，也可以将其

拖至菜单栏的下方,呈水平状。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,即可在电路中使用该仪器仪表。各按钮的功能如图 1-5 所示。

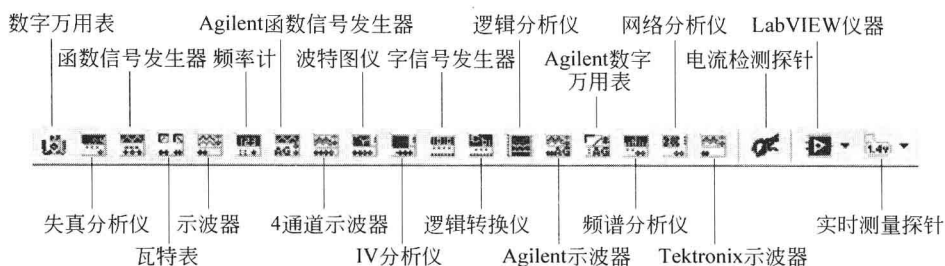


图 1-5 Multisim 10 虚拟仪器仪表工具栏

5. 设计管理器窗口

利用设计管理器窗口 (Design Toolbar) 可以把电路设计的原理图、PCB 图、相关文件、电路的各种统计报告进行分类管理,利用 View→Design Toolbar,可以打开或关闭设计管理器窗口。

6. 仿真工作平台

仿真工作平台 (Circuit Windows or Workspace) 又称电路工作区,是设计人员创建、设计、编辑电路图和进行仿真分析、显示波形的区域。

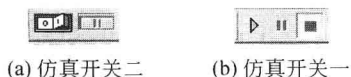
7. 仿真开关

仿真开关有两处:

(1) 仿真开关一。“运行”按钮为绿色三角箭头,“暂停”按钮为黑色两竖条,“停止”按钮为红色方块。

(2) 仿真开关二。船形开关为仿电源开关,暂停按钮上有两竖条。

两处按钮功能安全一样,即启动/停止、暂停/恢复,如图 1-6 所示。



(a) 仿真开关二 (b) 仿真开关一

图 1-6 Multisim 10 的仿真开关

1.1.3 Multisim 10 基本界面的定制

在进行仿真实验以前,我们需要对电子仿真软件 Multisim 10 的基本界面进行一些必要的设置。包括工具栏、电路颜色、页面尺寸、聚焦倍数、边线粗细、自动存储时间、打印设置和元件符号系统(美式 ANSI 或欧式 DIN)设置等。所定制的设置可与电路文件一起保存。这样就可以根据电路要求及个人爱好设置相应的用户界面,目的是为了更加方便原理图的创建、电路的仿真分析和观摩理解。因此,创建一个电路之前,一定要根据具体电路的要求和用户的习惯设置一个特定的用户界面。在设置基本界面之前,可以暂时关闭设计管理器窗口,使电子平台图纸范围扩大,方便绘制仿真电路。方法是:选择主菜单中的 View→Design Toolbar 命令,即可以打开或者关闭设计管理器窗口。

定制当前电路的界面,一般可通过菜单中的 Option(选项)菜单中的 Global Preferences(全局参数设置)和 Sheet Preferences(电路图或子电路图属性参数设置)两个

选项进行设置。

1. Global Preferences

选择菜单栏中的 Options → Global Preferences 命令,如图 1-7 所示,即会弹出 Preferences(首选项)对话框,如图 1-8 所示。该对话框共有 4 个选项卡,每个选项卡都有相应功能选项。这 4 个选项卡是: Paths(路径设置)、Save(保存设置)、Parts(设置元器件放置模式和符号标准)、General(常规设置)。

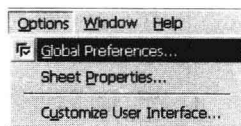


图 1-7 Options 的下拉菜单

1) Paths(路径)选项卡

该选项卡主要用于元器件库文件、电路图文件和用户文件的存储目录的设置,系统默认的目录为 Multisim 10 的安装目录。包括:

(1) Circuit default path(电路默认路径)文本框:用户在进行仿真时所创建的所有电路图文件都将自动保存在这个路径下,除非在保存的时候手动浏览到一个新的位置。

(2) User button images path(用户按钮图像路径)文本框:用户自己设计的图形按钮的存储目录。

该选项卡用户一般采取默认方式,如图 1-8 所示。

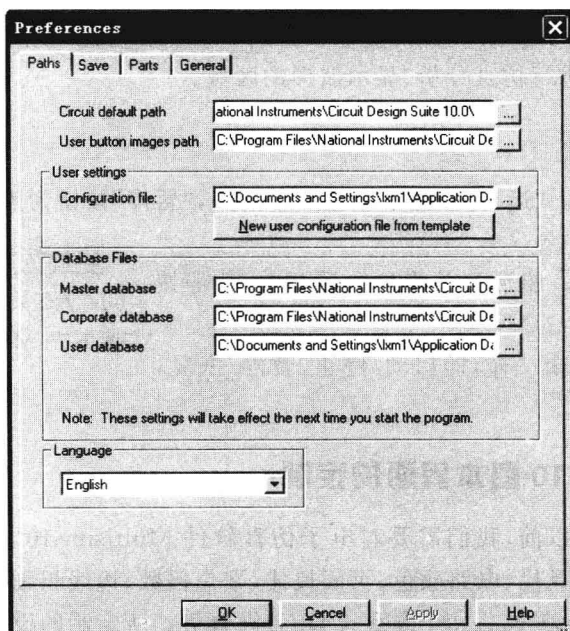


图 1-8 Preferences 对话框

2) Save(保存)选项卡

单击 Preferences 对话框中的 Save(保存)标签,打开 Save 选项卡。该选项卡用于对设计文档进行自动保存以及对仪器仪表的仿真数据保存进行设置。

(1) Create a "security copy"选项:在保存文档时,创建一个安全的副本,这样当原文件由于某种原因被破坏或者不能使用时,可以通过安全副本方便地重新得到。所以应勾

选这个选项。

(2) Auto-backup 选项: 指定是否对文档自动备份。如果勾选该项,则表示每隔一定的时间,系统会自动对设计文件进行自动保存。用户可以在 Auto-backup interval(自动保存时间间隔)框中输入时间即可,单位为分钟。

(3) Save simulation data with instruments: 是否保存正在进行电路仿真时仪器仪表得到的数据。如果保存的数据超过了 Maximum size(最大保存容量),系统会弹出警告提示,容量的单位为 MB(兆字节)。

3) Paths(元器件放置方式和符号标准)选项卡

Paths 选项卡主要用于选择放置元器件的方式、元器件符号标准、图形显示方式和数字电路仿真设置等,如图 1-9 所示。

(1) Place component mode(设置元器件放置方式)选项组。

- Return to component Browser after placement: 在电路图中放置元器件后是否返回元器件选择窗口,选择默认方式。
- Place single component: 每次选取一个元器件,只能放置一次。不管该元器件是单个封装还是复合封装(指一个 IC 内有多个相同的单元器件)。
- Continuous Placement for multi-section part only(ESC to quit): 按 Esc 键或右击可以结束放置。例如,集成电路 74LS00 中有 4 个完全独立的与非门,使用这个选项意味着可以连续放置 4 个与非门电路,并自动编排序号 U1A、U1B、U1C、U1D,但对单个分立元器件不能连续放置。

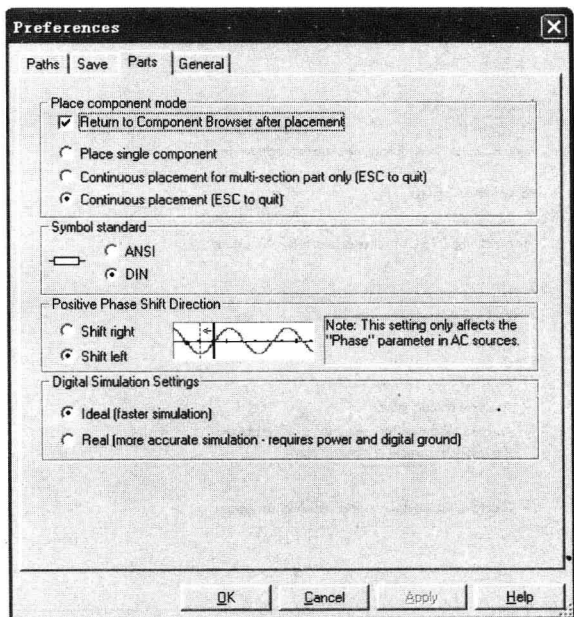


图 1-9 Parts 标签页

- Continuous Placement(ESC to quit): 不管该元器件是单个封装还是复合封装,只

要选取一次该元器件,可连续放置多个元器件,直至按 Esc 键或右击,才可以结束放置。为了画图快捷方便,建议选择这种方式。

(2) Symbol standard(元器件符号标准)选项组。

- ANSI: 美国标准元器件符号,业界广泛使用 ANSI 模式。
- DIN: 欧洲标准,DIN 模式与我国电气符号标准非常接近,建议选择 DIN 模式。

(3) Positive phase shift Direction(选择相移方向)选项组。

- Shift right: 图形曲线右移。
- Shift left: 图形曲线左移。

用户可以选择向左或者向右,通常默认曲线左移。

该项设置只有在信号源为交流电源时才起作用。

(4) Digital simulation setting(设置数字电路的仿真方式)选项组。

Ideal(faster simulation): 按理想器件模型仿真,可获得较高速度的仿真。通常选择 Ideal 方式。

Real(more accurate simulation—requires power and digital ground): 表示更加真实准确的仿真。要求在编辑电路原理图时,要给数字元器件提供电源符号和数字接地符号,其仿真精度较高,但仿真速度较慢。

4) General(常规)选项卡

General 选项卡主要用于设置选择方式、鼠标操作模式、总线连接和自动连接模式,如图 1-10 所示。

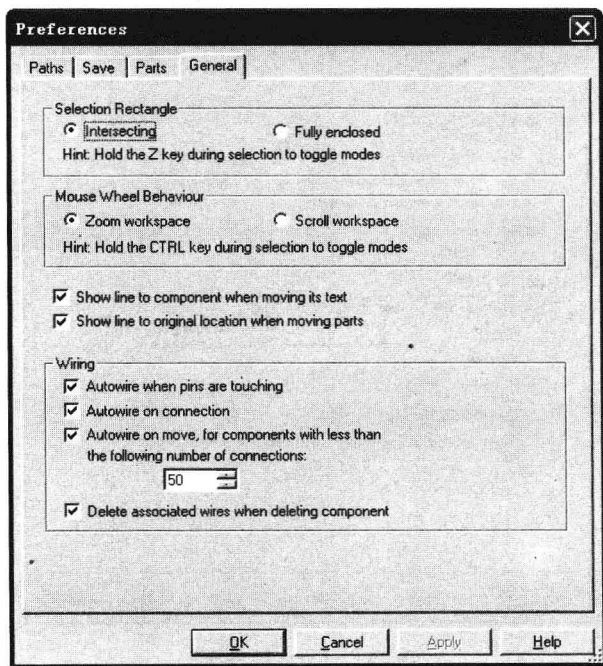


图 1-10 General 选项卡

(1) Selection Restangle(矩形选择操作)选项组。

- Intersection(相交): 选中元器件时只要用鼠标拖曳形成一个矩形方框,只要矩形框和元器件相交,即可将该元器件选中,一般默认这种方式。
- Fully enclosed(全封闭): 欲选中元器件时,必须用鼠标拖曳形成一个矩形框,一定要将元器件包围在矩形框中,才能将该元器件选中。

注意: 在选中元器件过程中,通过按住 Z 键,在上述两种方式进行切换。

(2) Mouse Wheel Behavior(鼠标滚动模式)选项组。

- Zoom Workspace: 鼠标滚轮滚动时,可以实现图纸的放大或缩小,一般默认这种方式。
- Scroll Workspace: 鼠标滚动时,电路图页面将作上下移动。

用户可以在滚动鼠标滚轮时,通过按下 Ctrl 键对两种操作方式进行切换。

(3) Show line to original location when moving parts 选项: 选中该选项,移动元器件过程中,系统将实时显示元器件当前位置与初始位置的连线。

(4) Show line to component when moving its text 选项: 选中该选项,移动元器件标识过程中,系统将实时显示该文本与元器件图标间的连线。

(5) Wiring(布线)选项组。设置线路绘制中的一些参数。

- Autowire when pins are touching: 当元器件的引脚碰到连线时自动进行连接,应勾选。
- Autowire on connection: 选择是否自动连线。应该勾选。
- Autowire on move,for: 如果电路图中元器件的连接线没有超过一定数量,选中此选项,在移动某个元器件时,将自动调整连接线的位置。若元器件连接线超过一定数量,移动元器件时,自动调整连线的效果不理想。如不勾选此项,移动元器件时连线效果很不理想。用户可根据实际情况设定连线的数量。默认值为 50 条。
- Delete associated wires when deleting component: 选中此项,当删除电路图中某个元器件时,同时删除与它相连接的导线。

对于初学者来说,General 选项卡可采用默认方式。

完成以上设置并保存后,下次运行该软件就不必再设置了。

2. Sheet properties(电路图属性设置)

选择 Options→Sheet properties 命令(如图 1-11 所示),弹出 Sheet properties(页面设置)对话框,如图 1-12 所示。该对话框共有 6 个选项卡,每个选项卡都有多个功能设置选项,基本包括 Multisim 10 电路仿真工作区全部的界面设置选项。

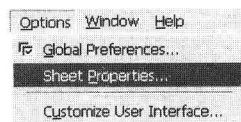


图 1-11 Options 的下拉菜单

1) Circuit(电路)选项卡

Circuit 选项卡有两个选项组,Show(显示)和 Color(颜色),主要用于设置电路仿真工作区中元器件的标号和参数、节点的名称及电路图的颜色等。

(1) Show(显示)选项组: 设置元器件、网络、连线上显示的标号等信息,分为元器件、

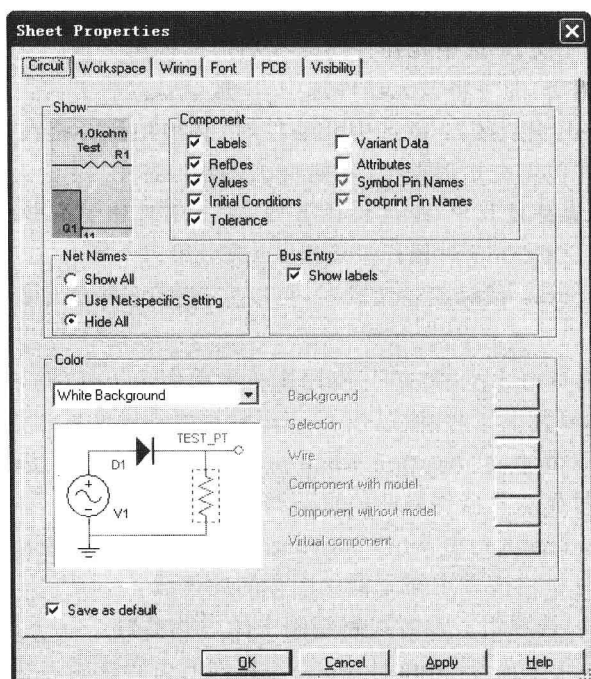


图 1-12 Circuit 选项卡

网络名称和总线入口 3 个选项。

① Component(元器件)选项

- Labels: 是否显示元器件的标注文字,标注文字可以是字符串,但是没有电气含义。
- Refdes: 是否显示元器件在电路图中的编号。如 R1、R2、C1、C2 等。
- Values: 是否显示元器件的标称值或型号。如 5.1k、100uF、74LS00D 等。
- Initial Conditions: 是否显示元器件的初始条件。
- Tolerance: 是否显示元器件的公差。
- Variant Data: 是否显示不同的特性,一般不选。
- Attributes: 是否显示元器件的属性,如生产厂家等,一般不选。
- Symbol Pin Names: 是否显示元器件引脚的功能名称。
- Footprint Pin Names: 是否显示元器件封装图中引脚序号。

最后两个选项框默认为灰色。单选按钮上述各选项,一般选择默认。

② Net Names(网络名称)选项

- Show All: 显示电路的全部节点编号。
- Use Net-specific Setting: 选择显示某个具体的网络名称。
- Hide All: 选择隐藏电路图中所有节点编号。

③ Bus Entry(总线入口)选项

Show labels: 是否显示导线和总线连接时每条导线的网络称号,必须勾选。