



21世纪高职高专规划教材

实验实训系列

FPGA 实验

实训教程

FPGA SHIYAN
SHIXUN JIAOCHENG

张庆玲 侯 睿 王晓银 编著

航空工业出版社



21 世纪高职高专规划教材
实 验 实 训 系 列

FPGA 实验实训教程

张庆玲 侯 睿 王晓银 编著

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本教程分为 Max + plus II 和 Quartus II 软件介绍、组合逻辑电路实验、时序逻辑电路实验、数字电路系统设计实验（高级实验）和实践训练项目等。本教程设置了较多的实验课题，包括很多实验项目，其内容和难易程度基本满足了不同层次的教学要求，任课教师可以根据实际情况灵活运用。为了适应不同类型实验课程的需求，每个实验项目都配有实验原理、真值表、参考实验程序、提高性实验练习等内容。既有课前任务又有课后练习，为教师和学生都带来方便。

本教程可作为高等院校电子、检测、仪表、信息、计算机类及相关专业的本科和专科实验教材、课程设计教材，还可供从事 EDA 技术研究和开发的工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

FPGA 实验实训教程/张庆玲，侯睿，王晓银编著. —北京：航空工业出版社，2008.7

ISBN 978 - 7 - 80243 - 166 - 9

I. F… II. ①张…②侯…③王… III. 可编程序逻辑器件—教材 IV. TP332.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 091531 号

FPGA 实验实训教程 FPGA Shiyan Shixun Jiaocheng

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话：010-64815615 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2008 年 7 月第 1 版

2008 年 7 月第 1 次印刷

开本：787 × 1092 1/16

印张：8.75

字数：184 千字

印数：1—3000

定价：18.00 元

前 言

目前数字系统的设计可以直接面向用户要求, 根据系统的行为和功能要求, 从上到下逐层完成相应的描述、综合、优化、仿真与验证, 直到生成器件。这个设计过程除了系统行为功能描述以外, 其余所有的设计都可以用计算机来自动的完成, 做到了电子设计自动化 (EDA)。VHDL 硬件描述性语言完成了设计的行为和功能的描述, 采用著名的可编程逻辑器件生产厂家 Altera 公司的 Max+plus II 和 Quartus II 软件开发工具, 来完成其余的设计过程。本指导书立足于实践, 面向初学者, 讲述了 VHDL 硬件描述性语言实验操作的全过程, 思路清晰, 操作简单。

本教程主要分为以下几个部分: Max+plus II 和 Quartus II 软件介绍, 组合逻辑电路实验, 时序逻辑电路实验, 数字电路系统设计实验 (高级实验) 和实践训练项目。每个实验都配有提高性实验练习, 既有课前任务又有课后练习, 为教师和学生都带来方便。由于软件功能庞大, 操作步骤较多, 加之实验课时又不可能开得太多、太集中, 导致学生难以掌握软件的全部功能。通过实例说明 Max+plus II 和 Quartus II 软件的使用方法, 使学生在较短的时间内能很快掌握软件的正确使用方法, 激发学生学习 EDA 技术的热情。数字电路系统设计实验和实践训练项目可以选为课程设计或课程实训的项目。课程设计或课程实训也可以利用硬件提供的 MCU 单元结合软硬件进行设计。

本教程适用于应用电子技术、自动检测与仪表、电子信息、计算机控制和计算机应用等专业的电子设计类课程的教学实验及课程设计使用。

本教程由西安航空技术高等专科学校张庆玲、侯睿、王晓银编著。本教程在编写过程中得到权养利、米国际、贡雪梅等老师的大力帮助和支持, 在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限, 加之科学技术的快速发展, 本教程中难免有不妥之处, 敬请不吝批评指正。

编 者

2008 年 5 月

目 录

第1章 Max+plus II 和 Quartus II 软件介绍	1
1.1 Max+plus II 软件概述	1
1.2 Max+plus II 软件安装	1
1.3 Quartus II 软件概述	2
1.4 Quartus II 软件安装	3
1.5 Programmer 驱动安装	4
1.6 Quartus II 软件的 Max+plus II 显示	5
1.7 用实例说明 Max+plus II 软件的使用方法	7
1.7.1 以原理图输入法设计十进制计数器	7
1.7.2 以文本输入法设计流水灯	14
1.8 用实例说明 Quartus II 软件的使用方法	16
1.8.1 以原理图输入法设计二十四进制计数器	17
1.8.2 以文本输入法设计	31
第2章 组合逻辑电路实验	37
2.1 8 线-3 线编码器的设计	37
2.2 BCD 七段显示译码器的设计	39
2.3 4 选 1 数据选择器的设计	41
2.4 4 位全加器的设计	43
第3章 时序逻辑电路实验	47
3.1 同步十进制加法计数器的设计	47
3.2 变模计数器 (3、5、7、8) 的设计	49
3.3 单时钟同步十进制可逆计数器的设计	52
3.4 串行数据检测器	54

第4章 数字电路系统设计实验	58
4.1 数码管的静态、动态显示.....	58
4.2 8×8 点阵的显示.....	62
4.3 汽车尾灯的控制电路.....	63
4.4 ADC 模数转换的控制.....	70
第5章 实践训练项目	76
5.1 一百进制计数器设计.....	76
5.2 秒表的设计.....	80
5.3 显示学号(8位数)的设计.....	88
5.4 三层电梯控制器的设计.....	89
5.5 键盘扫描的设计.....	97
附录1 实验练习参考程序	107
附录 1.1 组合逻辑电路.....	107
附录 1.2 时序逻辑电路.....	111
附录2 KH-31001 型 FPGA/CPLD 实验系统简介	115
附录 2.1 应用范围及特点.....	115
附录 2.2 系统结构.....	115
附录 2.3 硬件说明.....	116
附录 2.4 I/O 对照表.....	128
参考文献	132

第1章 Max+plus II 和 Quartus II 软件介绍

1.1 Max+plus II 软件概述

Max+plus II 开发工具是美国 Altera 公司自行设计的一种 EDA 软件工具，其全称为 Multiple Array Matrix and Programmable Logic User Systems。它具有原理图输入和文本输入（采用硬件描述语言）两种输入手段，利用该工具所配备的编辑、编译、仿真、综合、芯片编程等功能，将设计电路图或电路描述程序变成基本的逻辑单元写入可编程的芯片中（如 FPGA），做成 ASIC 芯片。它是 EDA 设计不可缺少的一种有用工具。但是，由于该工具是针对可编程芯片设计的，因此它不支持系统行为级的描述和仿真，某些 VHDL 语言中的语句得不到支持。

1.2 Max+plus II 软件安装

Max+plus II 软件 PC 机系统推荐配置：233MHz 处理器或更好的 PC 机；推荐使用 256MB 以上的内存，最小不得低于 128MB；800MB 以上的硬盘空间；Windows 95、Windows 98、Windows NT 4.0 或 Windows NT3.51 操作系统；17 英寸以上显示器。

下面以商业版在 Windows 98 系统下的安装为例。

(1) 将 Max+plus II 光盘插入光驱，在 Windows 98 界面下，单击资源管理器，此时屏幕显示各驱动器名称，打开光驱所对应的驱动器，会看见光盘有一个 PC 文件夹，打开 PC 文件夹，找到 Max+plus II 文件，再打开它，找到 install 应用程序文件并打开，就进入 install 界面。

(2) 进入 install 界面后，根据屏幕提示，单击“install”，屏幕显示系统默认的目录和用户指定的目录。如果按默认信息安装，系统和用户目录均在 C 盘，若想进入其他盘，只需在屏幕上稍作修改即可。用鼠标单击 [Yes] 或 [Continue] 按钮，安装程序向下执行。

(3) 屏幕显示 [Purchased]、[Custom]、[Full] 三个按钮，供用户选择安装内容。

[Purchased] ——购买的基本系统；

[Custom] ——通常使用的系统；

[Full] ——系统全部内容。

按需单击一个按钮（假设单击 [Full] 按钮后），按屏幕要求输入授权密码并单击

[Yes], 安装立即开始。

(4) 安装结束后, 则屏幕显示 Max+plus II 图标 。关闭安装画面, 将该图标移到合适的位置, 至此, 整个系统安装完毕。以后只需双击该图标即可进入 Max+plus II 系统。

(5) 第一次运行 Max+plus II 时, 需要设置授权码, 在 <http://www.Altera.com> 上申请授权码, 将获得的授权码文件 “License.dat”, 复制到 “max2plus” 文件夹里 (也可复制到别的路径下)。

(6) 设置授权码时, 回到 Max+plus II 界面, 选择菜单 [Option] | [License Setup], 如图 1-1 所示。通过 [Browse] 按钮选择 License.dat 文件或直接在 “License File or Server Name” 对话框中输入全路径名的 License.dat 文件名。单击 [OK], 回到 Max+plus II 界面开始进行设计。

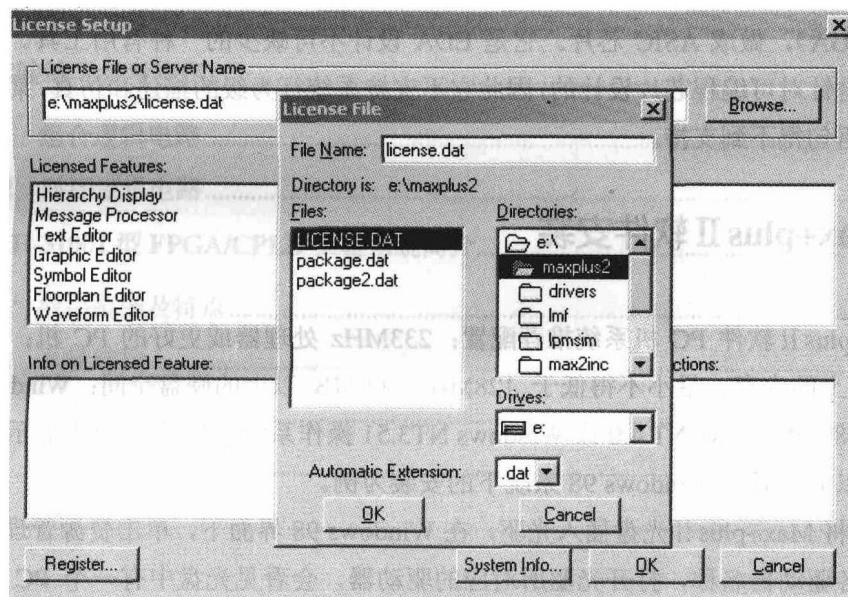


图 1-1 设置授权码

1.3 Quartus II 软件概述

Quartus II 软件工具是美国 Altera 公司在 Max+plus II 基础上开发的升级软件工具, Quartus II 软件提供的完整、易于操作的图形用户界面可以完成整个设计流程中各个阶段的设计。Quartus II 软件允许设计者在设计流程中的各个阶段使用熟悉的第三方 EDA 工具, 设计者可以在 Quartus II 图形用户界面或命令行可执行文件中使用这些 EDA 工具。Quartus II 软件提供完整的命令行界面解决方案。它允许使用者使用命令行可执行文件和选项完成设计流程的各个阶段。

1.4 Quartus II 软件安装

Quartus II 软件计算机系统最低配置：奔腾 II 400MHz，512MB 以上内存；1GB 以上的硬盘空间；Microsoft Windows NT4.0 (Service Pack 4 以上)、Windows 2000 或 Windows XP；Microsoft Windows 兼容的 SVGA 显示器；CD-ROM 驱动器；Microsoft IE 5.0 以上浏览器；TCP/IP 网络协议；至少有下列的端口之一：用于 ByteBlaster MV 下载电缆的并口 (LPT 口)；用于 MasterBlaster 通信电缆的串行口；用于 USB-Blaster 下载电缆、MasterBlaster 通信电缆以及 APU (Altera Programming Unit) 的 USB 口 (仅用于 Windows 2000 和 Windows XP)。

(1) 将 Quartus II 设计软件的光盘放入计算机的光驱中，Quartus II 安装光盘将自动启动安装界面 (如图 1-2 所示，但如果没有启动界面，可在安装目录下双击 “install.exe” 文件)。

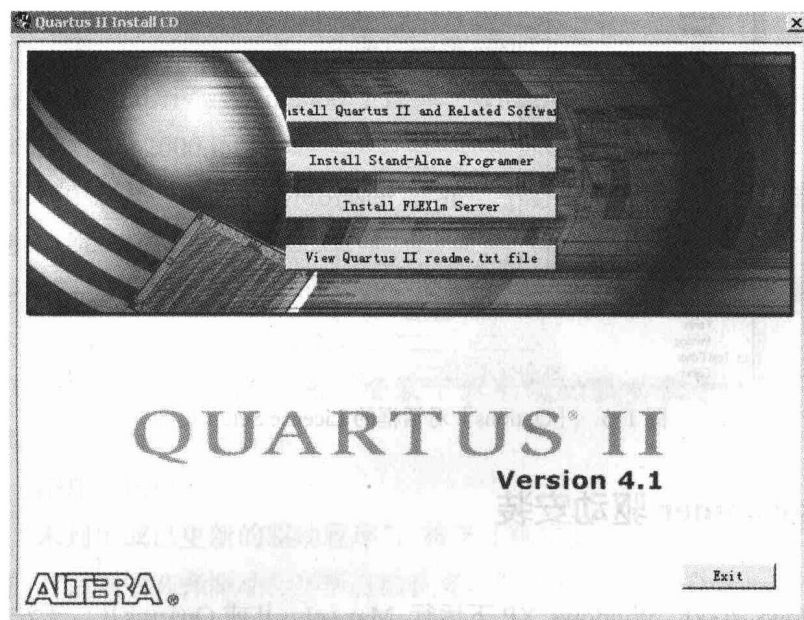


图 1-2 Quartus II 安装界面

(2) 点击 [Install Quartus II and Related Software] 按钮进入安装 Quartus II 软件的安装向导界面，点击 [Next] 进入安装软件选择界面。点选 “Quartus II 4.1” 后进入授权允许界面。选择 “I accept the terms of the license agreement” 后，出现安装内容选择界面。[Complete] 为完全安装，[Custom] 为用户自定义安装。

(3) 安装结束后，则屏幕显示 Quartus II 图标 ，关闭安装画面，将该图标移到合适的位置，至此，整个系统安装完毕。以后只需双击该图标即可进入 Quartus II 系统。

(4) 第一次运行 Quartus II 时, 需要设置授权码, 在 <http://www.Altera.com/Licensing> 进入 Altera 软件授权主页, 如果使用的是 node-locked license (单用户版), 选择 “FIXEDPC” 项; 如果使用的是 network license (多用户版), 选择 “FLOATPC”、“FLOATNET” 或 “FLOATLNK” 项。

(5) 根据要求, 填写信息, Altera 通过 E-mail 附件和文本两种方式给用户发送授权文件 License.dat。单用户版可以直接使用附件中的授权文件, 网络版需要对授权文件进行简单的修改后才可以使⤵用。

(6) 启动 Quartus II 软件, 选择菜单 [Tools] | [Options] 对话框 License Setup 页面, 如图 1-3 所示。在 “License file” 栏中指定 License.dat 文件所在目录, 单击 [OK] 即可回到 Quartus II 界面开始进行设计。

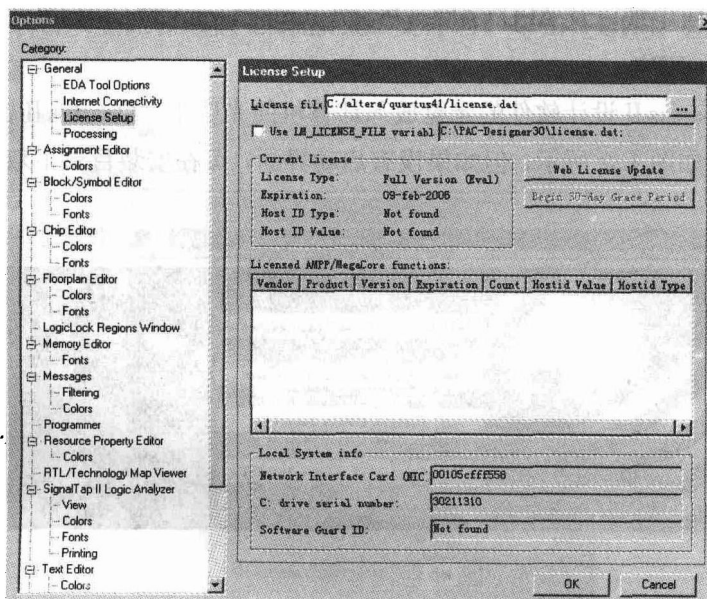


图 1-3 [Options] 对话框的 License Setup 页面

1.5 Programmer 驱动安装

在 Windows 2000、Windows XP 下运行 Max+plus II 或 Quartus II, 无法自动检测到 ByteBlaster MV (ByteBlaster) 下载电缆, 所以在 Windows 2000 和 Windows XP 操作系统下需安装驱动程序。

(1) Windows 2000 操作系统下安装下载电缆的驱动程序

- ①在控制面板中选择 “添加/删除硬件”;
- ②选择 “添加/排除设备故障” → “下一步”;
- ③选择 “添加新设备” → “下一步”;
- ④选择 “否, 从列表中选择硬件”;

⑤选择“声音、视频和游戏控制器”→“下一步”；

⑥选择“从磁盘安装”→“下一步”；

⑦在 Max+plus II →Drivers→Win2000 下选择 Win2000.inf 文件或 Quartus→Drivers→Win2000 下选择 Win2000.inf；

⑧选择“Altera ByteBlaster”，按“下一步”开始安装，安装完毕，需要重新启动电脑才能使新设备生效。

(2) Windows XP 操作系统下安装下载电缆的驱动程序

①“开始”→“控制面板”；

②在控制面板中选择“添加硬件”；

③选择“添加硬件向导”→“下一步”；

④选择“是，硬件已连接好”→“下一步”；

⑤选择“添加新的硬件设备”；

⑥选择“安装我手动从列表中选择硬件”；

⑦选择“声音、视频和游戏控制器”→“下一步”；

⑧选择“从磁盘安装”→“下一步”；

⑨在 Max+plus II \Drivers\Win2000 下选择“Win2000.inf”文件或 Quartus\Drivers\Win2000 下选择“Win2000.inf”；

⑩在对话框中选择“Altera ByteBlaster”，按“下一步”开始安装，安装完毕，需要重新启动电脑才能使新设备生效。

注意：在安装后，可能会提示“WINXP 不支持此驱动，继续安装可能会导致系统崩溃”，这并不影响使用，选择继续安装。

(3) Windows NT 操作系统下安装下载电缆的驱动程序

①在控制面板中双击“多媒体”。

②按下[添加]按钮。

③选择“未列出或已更新的驱动程序”，按下[确定]。

在弹出的对话框中选择驱动程序所在的位置，即 Max+plus II \Drivers\Win2000 目录（或 Quartus II 安装目录下的 Quartus 4.1 Drivers\ Win2000 子目录）选择 Win2000.inf 文件。按下[确定]，提示可以安装新的驱动程序。

④选择“Altera ByteBlaster”，按下[确定]键。

1.6 Quartus II 软件的 Max+plus II 显示

Quartus II 设计软件为设计者提供了一个完善的多平台设计环境，与以往的 EDA 工

具相比,它更适合于设计团队基于模块的层次化设计方法。为了使 Max+plus II 用户很快熟悉 Quartus II 软件的设计环境,在 Quartus II 软件中,设计者可以将 Quartus II 软件的图形用户界面 (GUI) 的菜单、工具条以及应用窗口设置成 Max+plus II 的显示形式。在 Quartus II 软件中通过下面的设置将 Quartus II 的图形用户界面显示成 Max+plus II 的形式:

- (1) 选择 [Tools] | [Customize...] 菜单命令。
- (2) 在 Customize 对话框 General 页面的“Look & Feel”栏中选择 Max+plus II 选项,如图 1-4 所示。

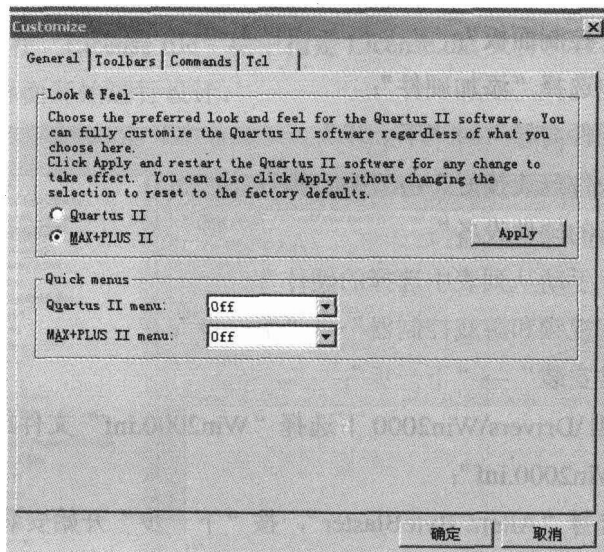


图 1-4 Customize 对话框

- (3) 点击 [Apply] 按钮后,重新进入 Quartus II 软件,此时的图形用户界面,如菜单、快捷键等就完全类似于 Max+plus II 软件了,如图 1-5 所示。

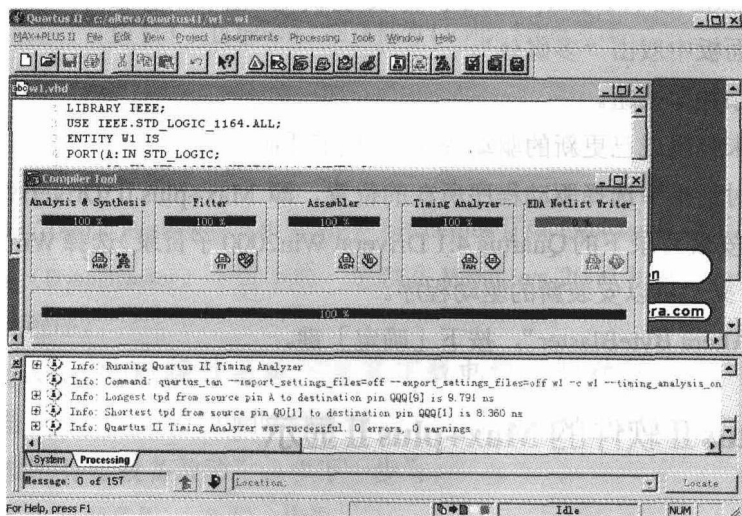


图 1-5 Quartus II 软件的 Max+plus II 显示

1.7 用实例说明 Max+plus II 软件的使用方法

1.7.1 以原理图输入法设计十进制计数器

(1) 新建原理图文件：单击左键选菜单 [File] | [new]，选择“Graphic Editor file.gdf”，如图 1-6 所示，再单击 [OK]。

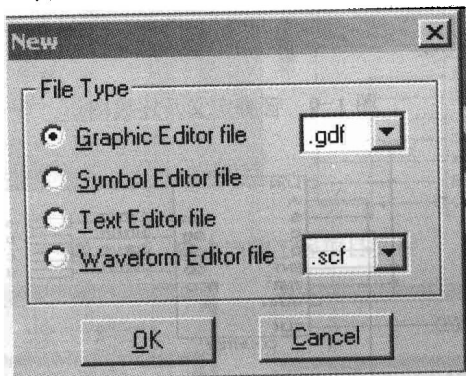


图 1-6 New 对话框

(2) 原理图编辑：在空白处双击左键，弹出“Enter Symbol”，选择 mf 库并双击左键，在 Symbol Files 下选 74161，如图 1-7 所示。

(3) 管脚编辑：双击左键，弹出“Enter Symbol”，选择 prim 库并双击左键，在 Symbol Files 下选 input，如图 1-8 所示。

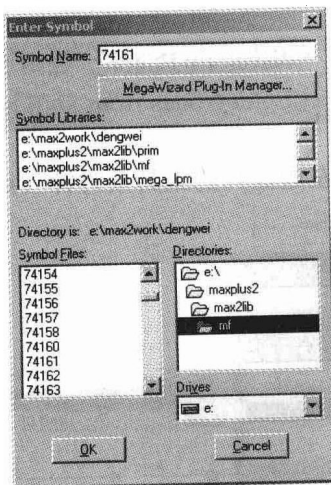


图 1-7 选择 74161

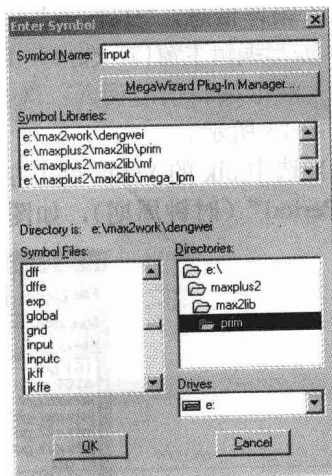


图 1-8 选择 input

(4) 定义管脚名并连线：双击“Pin-NAME”，进入编辑状态并输入管脚名，选中该输入管脚用左键拖动至适当位置，将鼠标指向所需连线处，出现十字再进行连线，并在需要连接处连接接点（在连线通过时点击左键即可），如图 1-9 所示。

(5) 原理图编辑结果: 用同样的方法, 画出 Vcc、Gnd、Output 等管脚, 完成后如图 1-10 所示。

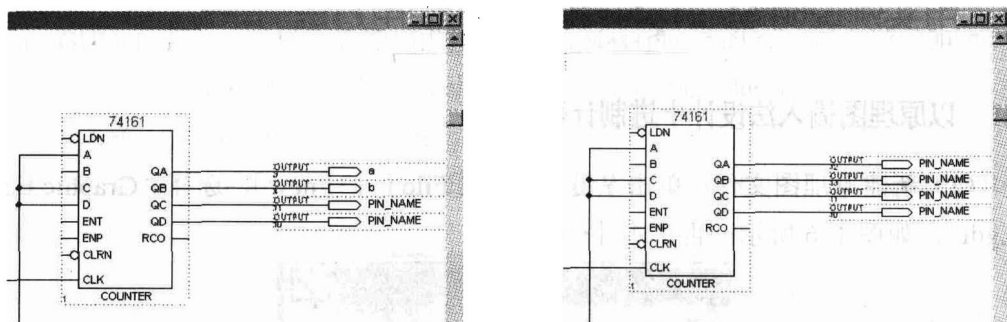


图 1-9 管脚定义及连线图

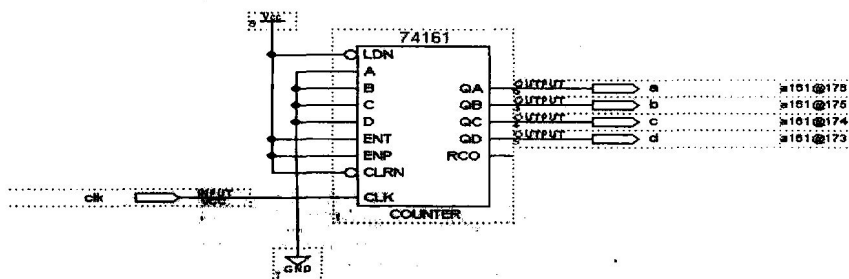


图 1-10 计数器编辑结果图

(6) 保存原理图文件: 选菜单 [File] | [save] 保存文件名为 “a161.gdf”, 如图 1-11 所示。

(7) 建立当前工程项目文件: 点击 [File] | [Project] | [Set Project to Current] 即可, 如图 1-12 所示。

(8) 编译: 点击 [Max+plus II] | [Compiler] | [Start], 红色进度条从左到右显现, 报告编译信息, “0 errors”, 如图 1-13 所示。

(9) 波形编辑主窗口: 选择菜单 [Max+Plus II] | [Waveform Editor], 如图 1-14 所示。

(10) 波形编辑信号调入: 选择菜单 [Node] | [Enter Nodes from SNF] | [List] 选择如图 1-15 所示。

(11) 选中 clk 的 Value 单击左键使之变黑, 用左边显亮的工具条时钟 (点击), 选 “Clock-Period” (时钟周期), 如图 1-16 所示。

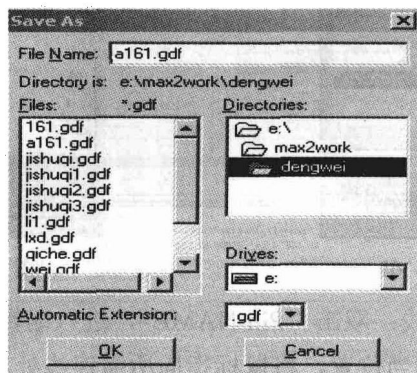


图 1-11 保存原理图文件

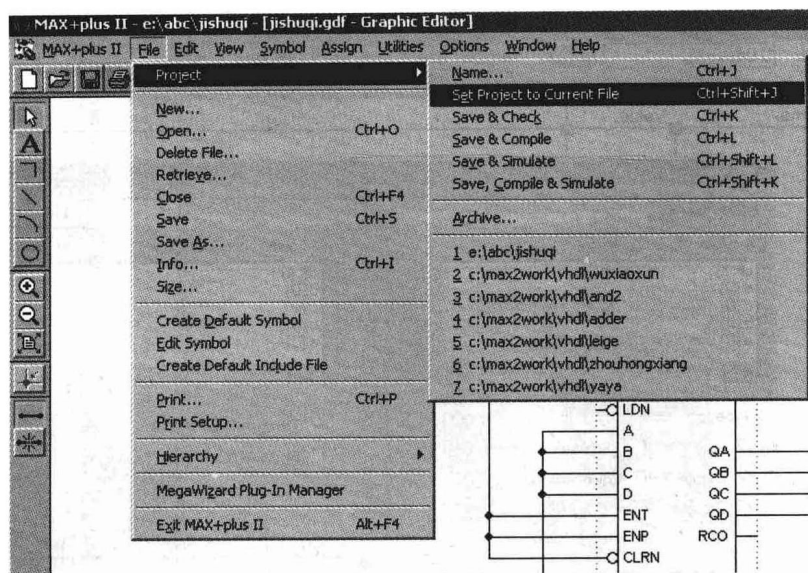


图 1-12 建立当前工程项目文件

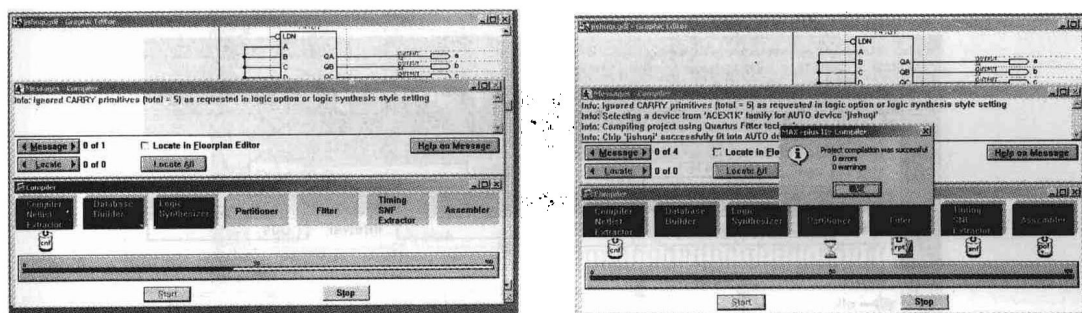


图 1-13 编译窗口

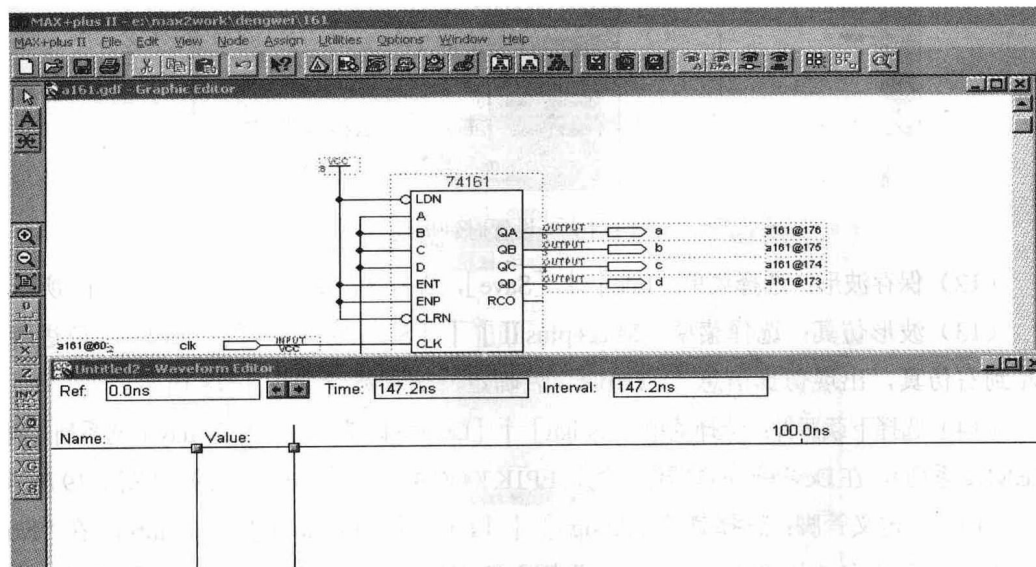


图 1-14 波形编辑主窗口

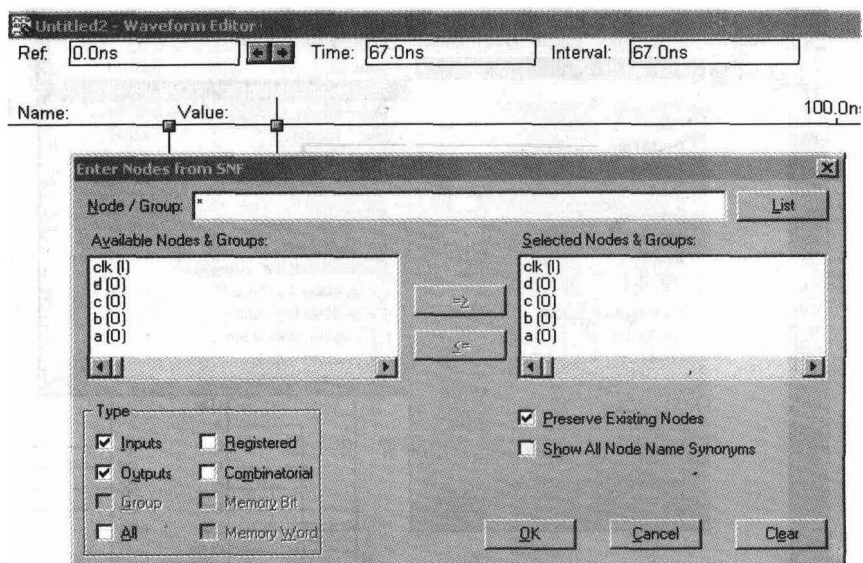


图 1-15 波形编辑信号调入

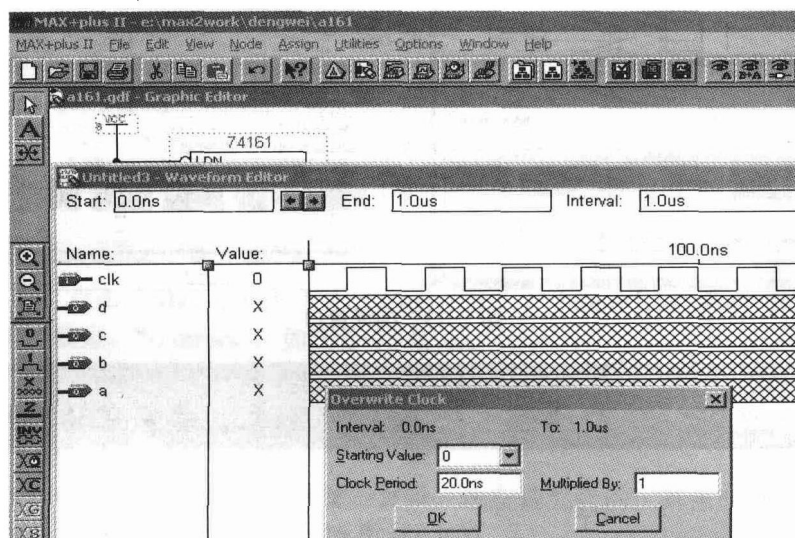


图 1-16 设置时钟周期

(12) 保存波形: 选择菜单 [File] | [Save], 保存为 “.scf” 文件, 如图 1-17 所示。

(13) 波形仿真: 选择菜单 [Max+plus II] | [Simulator] | [Start], 红色进度条从左到右仿真, 出现仿真信息 “0 errors” 后确定, 仿真波形如图 1-18 所示。

(14) 选择下载器件: 选择菜单 [Assign] | [Device], 在 [Device Family] 选系列 (例如 ACEX1K 系列), 在 Devices 下选器件 (例如 EP1K30QC208-3), 单击 [OK], 如图 1-19 所示。

(15) 自定义管脚: 选择菜单 [Assign] | [Pin] | [Location] | [Chip], 在 “Node Name” 键入管脚名, 如 “clk”, 在 “Pin” 键入管脚号, 如 “60”, 点击 [Add] 即可。如图 1-20 所示, 键入完成后点击 [OK]。

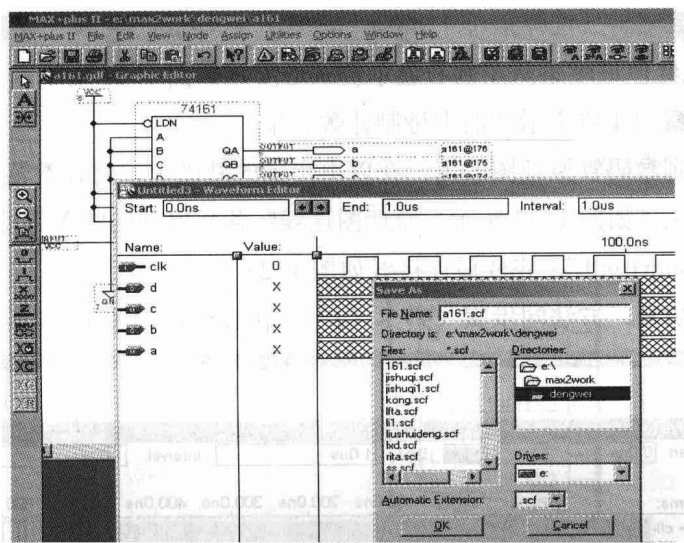


图 1-17 保存波形

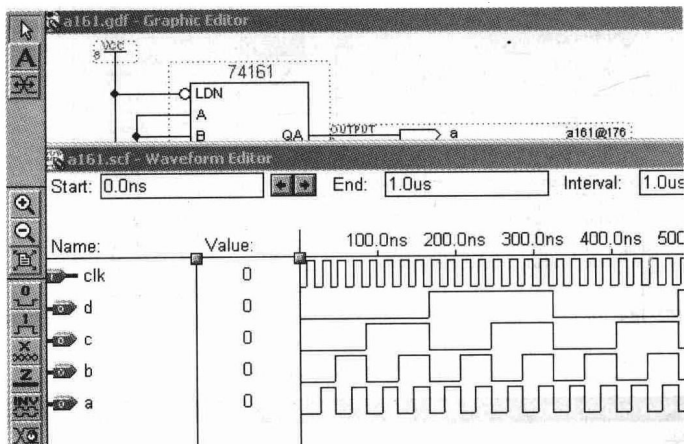


图 1-18 波形仿真图

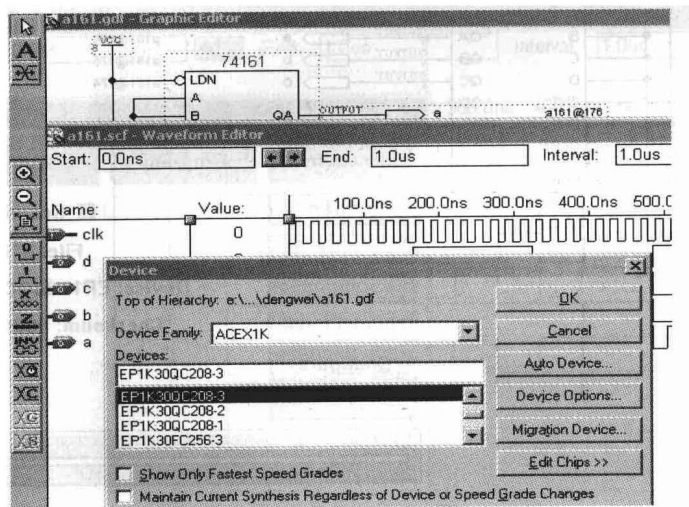


图 1-19 选择下载器件图