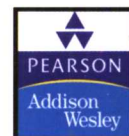
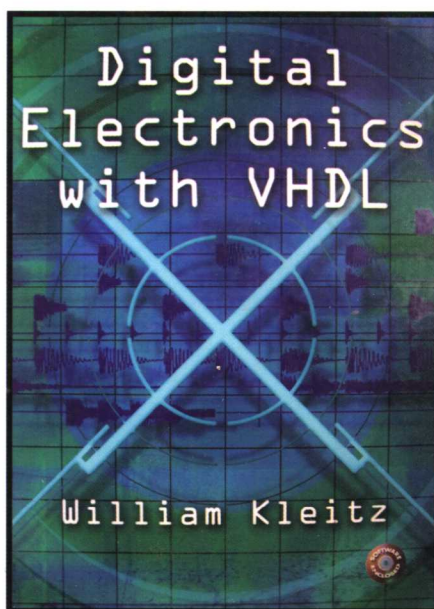


· 国外经典教材系列 ·

VHDL

数字电子学

北京希望电子出版社 总策划
[美] 克莱茨 (Kleitz, W.) 著
李慧军 译



科学出版社

www.sciencep.com



北京希望电子出版社

Beijing Hope Electronic Press

www.bhp.com.cn

TP312/2807D

2008

· 国外经典教材系列 ·

VHDL

数字电子学

北京希望电子出版社 总策划
[美]克莱茨(Kleitz, W.) 著
李慧军 译



科学出版社
www.sciencep.com



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

内 容 简 介

本书的内容大致可分为两部分。第一章到第八章是基本数字逻辑和组合逻辑,第九章到第十八章是时序逻辑和数字系统。

这本书不仅是一本参考书,还是一种学习工具。书中每一主题首先讲述概念和理论,接着讲述使用方法,之后,会给出几道带解答的例题,在一些主题中,还包含有一个系统设计应用。每一章结尾部分的习题可以促使你回顾本章的内容并检查自己是否达到该章开始部分所提出的学习目标。每章结尾部分的问题需进行更多的分析推理,但解答问题的方法在例题中都已给出。

本书读者对象为高等院校,高职高专院校相关专业学生,以及对 VHDL 技术感兴趣的读者。

本书配套光盘为原版图书所携光盘。

需要本书或技术支持的读者,请与北京清河 6 号信箱(邮编:100085)发行部联系,电话:010-62978181(总机)、010-82702660,传真:010-82702698, E-mail: tbd@bhp.com.cn。

Simplified Chinese edition copyright©2004 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and BEIJING HOPE ELECTRONIC PRESS.

Original English language title from Proprietor's edition of the Work.

Original English language title: Digital Electronics with VHDL, By William Kleitz, copyright©1999-2001

ISBN: 0-13-110080-7

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Education.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macao).

本书中文简体翻译版由 Pearson Education 授权给北京希望电子出版社在中国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区)出版发行。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-82702681; 82702660

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

VHDL 数字电子学 / (美) 克莱茨 (Kleitz, W.) 著. 李慧军译. —北京: 科学出版社, 2008.3

(国外经典教材系列)

ISBN 978-7-03-020697-8

I. V… II. ①克…②李… III. ①硬件描述语言, VHDL—程序设计—教材 ②数字电路—电路设计—教材
IV. TP312 TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 184163 号

责任编辑: 罗 蕊

/ 责任校对: 肖 寒

责任印刷: 双 青

/ 封面设计: 刘孝琼

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 3 月第 一 版

开本: 889×1194 1/16

2008 年 3 月第一次印刷

印张: 46 5/8

印数: 1-3000 册

字数: 1089 000

定价: 69.00 元 (配 2 张光盘)

前 言

本书为工程技术领域中的学生提供了数字电路基础知识,并为初学者能够赶上这个飞速发展的领域提供了所需的全部信息。本书提供大量实用的例子,便于读者的理解。

书中以固定功能的 7400 系列 IC 及通过 VHDL (VHSIC 硬件描述语言) 编程的 CPLD (复杂可编程逻辑器件) 为例介绍数字电路,所覆盖的内容从执行算术操作的基本逻辑门直到现代 PC 接口的时序逻辑和存储器电路。

数字电子 IC (集成电路) 和 CPLD 是可以在汽车、个人计算机和自动化工厂控制系统等处找到的基于微处理器系统的大脑。近年来,这个领域中最令人激动的进展是可以通过 VHDL 编程语言设计、仿真和实现所需的电路,而不需通过对单个的门电路及器件的连接来完成。

书中的每个主题都遵循一个特定的顺序,首先是问题的定义,接下来是实际举例,最后是由于 CPLD 实现的 VHDL 代码。为此,首先介绍的是数字逻辑的工作原理,然后以集成电路的形式完成设计,在对固定功能 IC 逻辑进行全面说明后,用 CPLD 软件将设计以图形设计文件的方式进行实现,最后才用硬件描述语言 VHDL 的形式进行实现,所使用的例子是为使读者在进入系统设计和系统逻辑问题解决前加深对主题的理解。经验证明,这种逐步学习的方法是在用 VHDL 进行逻辑设计前学习数字电路基础知识最有效的方法。

CD 中包含有 Altera MAX+PLUS II 软件,读者可以通过画出逻辑图(用逻辑门或 7400 宏功能)的方式以图形文件实现电路,也可以通过编码以 VHDL 的方式实现电路。然后在用同一软件将所设计的逻辑下载到商用 CPLD 编程板前,可在 PC 上进行仿真。

1000 多个例图被用于说明复杂的电路操作。大多数例图中都包含有关于输入和输出及电路操作的说明。VHDL 程序清单中也包含有许多注释,以便读者可以通过它们自学这种语言。

每一章的开始部分包含概要、目的及引言,结束部分包含小结、词汇表、设计、检修问题、原理图解释问题、Electronics Workbench MultiSIM 问题、CPLD 问题及习题答案等内容。

预备知识

本书的读者有必要预先了解或学习一下基础电子课程。书中涉及电子技术的所有基本概念在附录 F 中给出。

章节组织

本书的内容大致可分为两部分。第 1 章到第 8 章是基本数字逻辑和组合逻辑,第 9 章到第 18 章是时序逻辑和数字系统。第 1 章和第 2 章给出了在各种计数方式间转换的过程,并向读者介绍了数字电路中用到的电子信号和开关。第 3 章讲述的是基本逻辑门、时序分析和检修技术。第 4 章讲述了用 CPLD 完成设计的方法。第 5 章讲述的是如何将几个基本门进行连接以形成组合逻辑,怎样使用布尔代数、德摩根定理、VHDL 编程和卡诺图完成逻辑的化简。第 6、7、8 章讨论如何实现能提供更高级功能的组合逻辑,如奇偶校验、算术运算和编码转换等。

本书的第二部分首先讨论 TTL 和 CMOS 逻辑系列(第 9 章)的工作特性和技术指标。第 10 章介绍了触发器和时序定时分析的概念。第 11 章可使读者了解数字 IC 在应用中的一些实际限制及一些在后续章节中用到的中规模 IC 应用更为方便的常用电路。第 12 章和第 13 章向读者讲述了几种用于实现计数器和移位寄存器系统的中规模 IC 及其 VHDL 实现。第 14 章讲述了用数字 IC 和 555 定时器 IC 建立振荡器和定时电路。第 15 章讲述与模拟数字转换相关的理论和 ADC 及 DAC IC 转换器的实现。第 16 章讲述了应用在 PC 和微处理器系统中的半导体、磁和光存储器。第 17 章介绍了微处理器硬件和软件,以作为数字电子和后续的微处理器课程间的桥梁。第 18 章讲述了有关 8051 的知识,它是目前最常用的微控制器之一。书的结尾是几个附录,提供补充资料。

特点

页边注释

书中的页边常会出现注释,其目的是强调当前页中的重点内容。

常见错误:这些注释指出数字电路的典型特点和需要注意的地方,以帮助读者避免错误。

小组讨论:这些注释用于给出需要进行讨论的特定主题。教师可通过它们加强和学生间的互动。

提示:这些注释为电路分析给出相关的建议,强调正文部分的关键主题。学生可以通过它们领会重要概念。

在 PC 中:这些注释用于说明该节中的理论在现代 PC 里的实际应用。将帮助学生理解许多定义 PC 性能特点的术语。

基本习题

学习技术课程的一个关键方法是解决具有不同难度的实际问题。每章结尾部分的习题按照小节编号分组。在每一节内有几个基本问题,要求学生用该章所给出的基本信息解决这些问题。此外,还有三种其他类型的问题:

D(设计)加标字母 D 的问题要求学生根据规定的任务修改已经存在的电路或设计原始电路。这类问题可以激发创造性思维,学生完成电路设计后会产生成就感。

T(检修)加标字母 T 的问题给出一个有故障的电路,要求学生对它进行诊断或给出检测电路的程序。这类问题可以发展分析技能并使学生为解决在工作中将遇到的常见问题做预先练习。

C(挑战)加标字母 C 的问题具有挑战性。它们与该章中的例题不同,要求学生对书本的材料有透彻的理解,并通过自己想办法解决问题。这类问题可以扩展分析技能,最大限度地开发思维技巧。

MultiSIM 问题

Electronics/MultiSIM 是一个软件仿真工具,它被用于加强对每一章所讲述理论的理解。软件可以对数字和模拟电路的工作进行精确地仿真,其中提供了技术人员用来测量 IC、器件和电路特性的仿真仪器。通过这个软件,读者可建立和测试教材中的大多数电路。

在每一章的结尾部分有几个 MultiSIM 问题。教材 CD 中包含有 MultiSIM 软件和所有相关电路文件及解答每个问题所需的指导。有三类问题:

- (1) 电路交互问题要求学生改变输入值并对在输出端进行测量,以检验电路的工作特性。
- (2) 设计问题要求学生设计、修改电路,以完成特定的任务。
- (3) 检修问题要求学生找到并维修所给电路的错误。

原理图解释问题

设计这些问题的目的是让读者具有解释完整系统原理图中相关电路和 IC 工作机理的经历。其中会要求读者识别图中某个部件、描述其工作特性、修改电路元件、设计新的电路接口。从而使读者具有在实际工作中会遇到的使用大规模原理图的经验。

CPLD 问题

在部分章的结尾包含有关于复杂可编程逻辑器件(CPLD)的问题。在高度复杂且可编程性被认为十分重要的情况下经常用 CPLD 设计数字电路。CPLD 问题通过使用 CD 上的 Altera MAX+PLUS II 软件,用图形设计方法和 VHDL 方法完成在此以前使用 7400 系列 IC 所完成的设计。

VHDL 编程

VHDL 编程语言在数字系统的设计中变得越来越重要。书中的数字设计问题首先使用固定功能的 7400 系列逻辑门完成,然后会用 VHDL 硬件描述语言再次设计。阅读和修改 VHDL 的能力以及在某些情况下编写中等规模数字电路原始程序的能力对现在的技术人员非常重要。

微处理器基础

大多数高级数字系统中的“大脑”是微处理器。技术人员设计和检修数字系统必须具备微处理器软件和硬件的基础知识。第 17 章给出了微处理器软件和硬件的基础知识。第 18 章介绍了 8051 的内部结构、硬件接口和软件编程方法,然后通过几个完整的数据采集应用进行了说明。

给教师的话

数字电子教与学:在这里谈一谈 25 年来教授数字电子所积累的一些教学方法。不用说,学生们学习数字电子的热情和兴趣是因为数字计算机的普及和数字技术和工程在工作中的应用增多,还因为现在通过使用价格便宜的数字 IC 和 CPLD,学生们可以在实验室或家里以较低的成本建立有用的数字电路。

实验室实验:让学生在实验室做实验在数字课程中是非常有用的。本书的一个重要特点是对任何电路都提供足够的信息,从而可以在实验室里完成电路的建立和测试,并能将所获得的结果与书中的答案进行比较。

Altera MAX+PLUS II 软件:Altera 公司作为一家领先的 CPLD 和 FPGA 的提供商,提供了本书 CD 中用于设计、仿真和编程的软件 (MAX+PLUS II)。建议每个学校加入 www.Altera.com 网站的 Altera 大学项目,以便能及时获得最新的产品和软件更新信息。

CPLD 编程电路板:CPLD 设计过程的最后步骤是用所提供的软件对 CPLD 进行编程,以完成逻辑设计在 CPLD 中的实现。这在实验室中是通过将 MAX+PLUS II 产生的设计下载到 CPLD 编程电路板完成的,在这里推荐的编程电路板是由 Altera (www.Altera.com) 出售的 UP2 (或 UP1) 大学设计实验室工具或由 Electronics Express (www.elexp.com) 出售的 RSR PLDT-2。每个实验都需要其中的一个编程电路板。

学生方案:鼓励学生根据建立一些本书中的基本构造块电路。所推荐的电路是图 11-43 中的 5V 电源,图 11-44 中的 60HZ 脉冲发生器,图 11-40 中的交叉与非门开关消颤电路,图 12-48 中的 7 段 LED 显示电路。这些电路为学生提供了一个在家里测试以后各章节中其他电路的起点。

小组讨论:在教学中,尽可能早地利用页边的讨论注释。这些是用于共同学习的练习,可以鼓励学生组成学习小组,讨论问题,给出问题的结论。这些讨论可以培养他们团队合作感,为以后的整个学习过程创造一个学生网络连接。

电路图:书中几乎每个主题里都有一个与其有关的插图。在教学中会直接从插图讲到插图。所有这些图表都有可用的 PowerPoint 格式,以便在教学中采用。

测验:除了每天的作业外,一般每周进行半小时的小测验,以督促学生每周至少学习一次。在测验时可让他们带一个公式手册(也可带 TTL 或 CMOS 数据手册)。他们可以在手册上书写任意的内容。使用公式手册是一种很好的学习方法,并让他们不再记那些工作中不得不用东西。

学习过程:学生们通过学习基础理论、掌握特定主题所需要的工具、解答给出的例题、回答每一小节的习题、最后再回答每一章的问题来掌握知识。我经常鼓励学生自己解答书中的例题且不看书中的答案,这样可以加强学习的效果并使他们肯定自己解答中的每一个细节都是正确的。

独到的学习工具

本书具有以下有效辅助学习和理解的特点:

- 书中附带的 CD-ROM 包含有以下内容:
 1. (a) Electronics Workbench/MultiSIM 软件 (教材版)。
 - (b) MultiSIM 电路数据文件。
 - (c) Altera MAX+PLUS II 图形和 VHDL 设计软件。
 - (d) 书中 Altera CPLD 例题的答案。
- 2. Texas 仪器公司的固定功能数据手册。
 - 常用数字电路带有注释和完整说明的 VHDL 实现。
 - 逐步讲述用 MAX+PLUS II 软件进行设计和 CPLD 编程的方法。

- 100 多个 MultiSIM 练习, 旨在提高学生对基本概念、检维策略和电路设计方法的理解。
- 通过对 200 多道例题的逐步讲解, 以有效说明平时的难点问题。
- 1000 多个带注释的详细图解, 给出直观的说明, 可作为讨论的基础。一些操作注释说明了图中特定部分的工作特点。
- 1000 多个问题和习题, 用以提高解决问题的技巧。包含有从简单直接的问题到非常有挑战性的问题, 范围全面。
- 书中的检修应用和问题, 用以向读者说明测试和维修的步骤。
- 书中引用的厂家数据手册, 可提供解决现实问题的有用经验。
- 定时波形图, 说明用在工业中的定时分析技术, 给出数字 IC 和 CPLD 时序工作的图形化表示。
- 一些商用 IC 的表格, 可作为现代电路设计的参考材料。
- 一些照片, 用以图示书中给出的设备和电路。
- 每一章开头的部分给出了需要达到的学习目标。
- 小节复习题和章尾部分的答案, 用来考察读者是否达到了学习的目标。
- 每章结尾部分的术语表, 给出了本章中的术语。

致学生: 如何利用好这本教材

数字电子是存在于汽车、工控系统、家庭娱乐系统中的计算机与基于微处理器系统的基础知识。现在学习这方面的知识是十分有用的。通过使用过去 25 年来技术发展所提供的 IC, 我们可以不需许多抽象理论和复杂电路就能完成复杂的任务。在学习本书过程中, 你将开发出你曾经十分好奇的令人激动的设计。

通过学习数字电子, 还可以掌握微处理器和微机接口的背景知识, 为将来成为一名计算机技术服务人员、产品测试技术人员或数字设计技术人员等许多与计算机和基于微处理器系统有关的工作积累工作技能。

这本书不仅是一本参考书, 还是一种学习工具。书中每一主题首先讲述概念和理论, 然后讲述使用方法, 最后, 会给出几道带解答的例题, 在一些主题中, 还包含有一个系统设计应用。每一章结尾部分的习题可以促使你回顾本章的内容并检查自己是否达到该章开始部分所提出的学习目标。每章结尾部分的问题需进行更多的分析推理, 但解答问题的方法在例题中都已给出。独立完成例题并给出答案是准备作业问题和考试的一个很好的方法。如果这时遇到障碍, 就可以知道哪些内容还没有掌握并在例题中找到正确的解答。

建议尽量利用 MultiSIM 和 MAX+PLUS II 软件进行练习, 练习得越多, 学习就会变得越简单。最后, 祝你取得好的学习效果, 赢得好的工作机会。

克莱茨 (Kleitz, K.) 教授
Tompkins Cortland Community College

目 录

第1章 数字系统和编码	1
1-1 数字和模拟	1
1-2 模拟量的数字表示	2
1-3 十进制系统（以10为基）	4
1-4 二进制系统（以2为基）	4
1-5 十进制到二进制的转换	6
1-6 八进制系统（以8为基）	8
1-7 八进制的转换	8
1-8 十六进制系统（以16为基）	9
1-9 十六进制的转换	10
1-10 二—十进制（BCD）码	11
1-11 数制系统的比较	12
1-12 ASCII 码	12
1-13 数制系统的应用	14
第2章 数字电子信号与开关	20
2-1 数字信号	20
2-2 时钟波形时序	21
2-3 串行表示	23
2-4 并行表示	23
2-5 电子电路中的开关	26
2-6 继电器作为开关	26
2-7 二极管作为开关	30
2-8 晶体管作为开关	32
2-9 TTL 集成电路	35
2-10 CMOS 集成电路	37
2-11 表面安装器件	37
第3章 基本逻辑门	44
3-1 与门	44
3-2 或门	46
3-3 时序分析	48
3-4 使能和禁止功能	50
3-5 使用逻辑门 IC	51
3-6 查错技术介绍	52
3-7 反相器	55
3-8 与非门	56
3-9 或非门	58
3-10 逻辑门波形发生	60
3-11 使用逻辑门 IC	64

3-12 基本逻辑门小结和 IEEE/IEC 标准逻辑符号	66
第 4 章 可编程逻辑器件: 用 VHDL 设计 CPLD 与 FPGA	79
4-1 PLD 设计流程	79
4-2 PLD 体系结构	81
4-3 用 PLD 完成基本逻辑设计	86
4-4 Altera MAX+PLUSII 软件设计教程	90
4-5 CPLD 应用	103
第 5 章 布尔代数与化简技术	110
5-1 组合逻辑	110
5-2 布尔代数公理和定理	113
5-3 使用布尔代数简化组合逻辑电路	117
5-4 使用 MAX+PLUS II 确定简化等式	119
5-5 德·摩根定理	124
5-6 在 VHDL 中使用向量信号输入真值表	135
5-7 与非门和或非门的通用性	138
5-8 用与—或—非门实现“积之和”表达式	143
5-9 卡诺图	146
5-10 系统设计应用	150
第 6 章 异或门与异或非门	170
6-1 异或门	170
6-2 异或非门	171
6-3 校验产生器/检测器	173
6-4 系统设计应用	176
6-5 用 VHDL 进行 CPLD 设计应用	178
第 7 章 算术运算及其电路	186
7-1 二进制算术	186
7-2 2 的补码表示法	191
7-3 2 的补码算术	193
7-4 十六进制算术	194
7-5 BCD 算术	196
7-6 算术电路	198
7-7 四位全加器集成电路	202
7-8 使用整数算术的 VHDL 加法器	204
7-9 系统设计应用	205
7-10 算术/逻辑单元	208
7-11 用 VHDL 和 LPM 进行 CPLD 应用	210
第 8 章 代码转换器、多路复用器和多路分配器	223
8-1 比较器	223
8-2 使用 IF-THEN-ELSE 的 VHDL 比较器	225
8-3 译码	228
8-4 VHDL 语言实现的译码器	234
8-5 编码	237

8-6 代码转换器	242
8-7 多路复用器	249
8-8 多路分配器	254
8-9 系统设计应用	258
8-10 使用 LPM 进行 CPLD 设计	263
第 9 章 逻辑系列及其特性	277
9-1 TTL 系列	277
9-2 TTL 电压和电流额定值	280
9-3 TTL 的其他考虑	288
9-4 改进的 TTL 系列	292
9-5 CMOS 系列	293
9-6 射极耦合逻辑	297
9-7 逻辑系列比较	298
9-8 逻辑系列间的接口	300
9-9 CPLD 电特性	305
第 10 章 触发器和寄存器	313
10-1 S-R 触发器	313
10-2 门控 S-R 触发器	317
10-3 门控 D 触发器	318
10-4 D 锁存器: 7475 IC; VHDL 描述	319
10-5 D 触发器: 7474 IC; VHDL 描述	322
10-6 主从 J-K 触发器	329
10-7 边沿触发的 J-K 触发器及其 VHDL 模型	332
10-8 J-K 触发器集成电路 (7476, 74LS76)	335
10-9 在微控制器应用中使用八 D 触发器	341
10-10 使用 Altera 的 LPM 触发器	342
第 11 章 数字设计中需要考虑的实际问题	355
11-1 触发器的时间参数	355
11-2 自动复位	369
11-3 史密特触发器集成电路	370
11-4 开关除颤	374
11-5 定制上拉电阻	377
11-6 在实际应用中对输入和输出需要考虑的问题	378
第 12 章 计数器电路和 VHDL 状态机	391
12-1 时序电路的分析	392
12-2 行波计数器: J-K 触发器和 VHDL 描述	395
12-3 除 N 计数器的设计	400
12-4 行波计数器集成电路	408
12-5 系统设计应用	412
12-6 七段 LED 显示译码器: 7447 IC 和 VHDL 描述	417
12-7 同步计数器	423
12-8 同步递加/递减计数器 IC	427

12-9 同步计数器 IC 的应用	434
12-10 VHDL 和 LPM 计数器	436
12-11 用 VHDL 实现状态机	440
第 13 章 移位寄存器	461
13-1 移位寄存器基础	461
13-2 并行到串行转换	463
13-3 再循环寄存器	465
13-4 串行到并行转换	465
13-5 环形移位计数器和 Johnson 移位计数器	465
13-6 移位寄存器的 VHDL 描述	468
13-7 移位寄存器 IC	470
13-8 移位寄存器的系统设计应用	477
13-9 用移位寄存器驱动步进电机	481
13-10 三态缓冲器、锁存器、收发器	484
13-11 LPM 移位寄存器和 74194 宏函数的使用	487
13-12 使用 VHDL 部件和示例	488
第 14 章 多谐振荡器和 555 定时器	502
14-1 多谐振荡器	502
14-2 电容充电和放电速度	503
14-3 非稳态多谐振荡器	506
14-4 单稳态多谐振荡器	508
14-5 单稳态多谐振荡器集成电路	510
14-6 可重触发的单稳态多谐振荡器	514
14-7 555 定时器电路的非稳态工作	516
14-8 555 定时器 IC 的单稳态工作	521
14-9 晶体振荡器	523
第 15 章 模拟量接口	529
15-1 数字表示和模拟表示	529
15-2 运算放大器基础	530
15-3 二进制加权 D/A 转换器	531
15-4 $R/2R$ 阶梯 D/A 转换器	532
15-5 集成电路 D/A 转换器	534
15-6 集成电路数据转换器技术指标	536
15-7 并行编码 A/D 转换器	537
15-8 计数器—斜坡 A/D 转换器	537
15-9 逐次逼近 A/D 转换器	539
15-10 集成电路 A/D 转换器	541
15-11 数据采集系统应用	545
15-12 传感器和信号调理	546
第 16 章 半导体、磁和光存储器	556
16-1 存储器概念	556
16-2 静态 RAM	559

16-3 动态 RAM	565
16-4 只读存储器	569
16-5 存储器扩展和地址译码应用	575
16-6 磁和光存储	578
第 17 章 微处理器基本原理	586
17-1 系统结构和总线介绍*	587
17-2 微处理器系统的软件控制	588
17-3 微处理器内部结构	589
17-4 微处理器内的指令执行	590
17-5 基本 I/O 编程的硬件需求	592
17-6 编写汇编语言和机器语言程序	594
17-7 微处理器及其制造商一览	596
第 18 章 8051 微控制器	601
18-1 8051 系列微控制器	602
18-2 8051 结构	602
18-3 外部存储器接口	606
18-4 8051 指令集	608
18-5 8051 应用	613
18-6 数据采集和控制系统应用	617
附录 A	629
附录 B 厂家数据手册	631
附录 C 逻辑符号的 IEEE/IEC 标准说明 (相关标记)*	687
附录 D 奇数编号问题答案	691
附录 E VHDL 语言参考	711
附录 F 基本电路原理复习	717
附录 G 章尾问题原理图	724
附录 H 8051 指令集	732

第 1 章 数字系统和编码

概要

- 1-1 数字和模拟
- 1-2 模拟量的数字表示
- 1-3 十进制系统（以 10 为基）
- 1-4 二进制系统（以 2 为基）
- 1-5 十进制到二进制的转换
- 1-6 八进制系统（以 8 为基）
- 1-7 八进制的转换
- 1-8 十六进制系统（以 16 为基）
- 1-9 十六进制的转换
- 1-10 二—十进制（BCD）码
- 1-11 数制系统的比较
- 1-12 ASCII 码
- 1-13 数制系统的应用

目标

- 在十、二、八和十六进制系统中，确定每个数位的加权因子。
- 十、二、八、十六进制数之间进行转换。
- 描述二—十进制码（BCD）的格式并对其进行使用。
- 利用 ASCII 码转换表，确定任何字母数值型数据的 ASCII 码。

内容

数字电路是数字计算机和许多自动控制系统的基礎。在现代家庭中，数字电路控制着电器、报警系统和供暖系统。在数字电路和微处理器的控制下，新的汽车增加了许多安全特性，变得更加节能，在出现故障时更容易诊断和维修。

数字电路的其他用途包括自动机器控制、能源监视和控制、库存管理、医用电子学和音乐。例如，数控磨床能够将一块原材料磨制成任意预先指定的大小，而且具有可重复性，误差在 0.01%。另一个应用是能源监视和控制。由于能源的成本高，对于大型的企业和商业用户来说，监控建筑内的能源流动非常重要。对供暖、电扇、空调的有效控制能显著减少能源开支。越来越多的食品杂货店使用通用产品代码（UPC）来结账和计算总额，还可以自动控制库存和充实存货。医用电子学领域使用数字温度计、生命维持系统和监视器。我们也看到了数字电子学在复制音乐作品方面越来越多的应用。数字复制不易受电子噪音干扰，因此复制出的音乐作品具有更高的保真度。

数字电子学来源于一条原则，即能够很容易地设计和制造晶体管电路，使其根据输入端给出的输入电平输出两个电平中的一个。这两个不同的电平（通常是+5V 和 0V）被称作高和低，可以用 1 和 0 来表示。

二进制数制系统只由 0 和 1 构成，因此在数字电路中广泛应用。本章介绍的其他数制系统和代码转换可以表示成组的二进制位，因此也被广泛采用。

1-1 数字和模拟

数字系统对离散的数位进行操作，这些数位表示数、字母或符号。它们严格地按照“开”和“关”状态工作，这两个状态被表示为“0”和“1”。模拟系统测量和响应连续变化的电或物理幅值，模拟器件被

集成到电子系统中用于对温度、压力、速度、位置等进行连续监视和控制。图 1-1 给出了一些数字量和模拟量的例子。

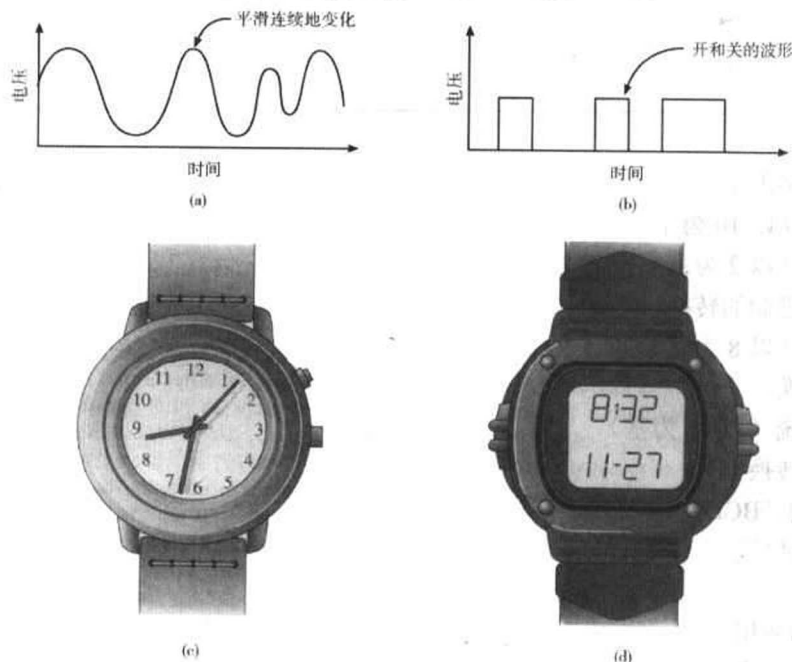


图 1-1 模拟与数字：(a) 模拟波形；(b) 数字波形；(c) 模拟表；(d) 数字表

复习题*

- 1-1. 举出 3 个模拟量的例子。
- 1-2. 为什么计算机处理的是数字量而不是模拟量？

1-2 模拟量的数字表示

大多数自然界中的物理量本质上是模拟的。模拟信号是一个连续变化的电或物理量。考虑一个水银温度计，当温度升高时，水银柱以模拟方式伸展，光滑、连续地运动到相关的温度。棒球运动员以模拟运动方式挥动球拍。音乐家敲击钢琴键的速度和力本质上是模拟的，由此引起的琴弦的震动也是模拟的正弦振动。

在一个本质上是模拟的世界里，为什么我们需要数字表示呢？答案是如果我们想让电子设备解释、传输、处理和存储模拟信息，对该设备来说如果先把信息转换成数字格式再进行处理会容易得多。由“0”和“1”组成的数字串可以用“开”、“关”电平的组合来表示。

例如，一个读数为 72 度的模拟温度计在数字电路中可以用一系列开关电平表示。（以后我们会学到，数字 72 转换成数字电平是 0100 1000），使用开/关电平的方便之处在于用于产生、操作、存储它们的电路非常简单，这样就不需处理具有无限小间隔的模拟电平，而只需处理“开”或“关”两种电压（通常+5V=开，0V=关）。

关于模拟量的数字表示的应用，一个很好的例子是音乐的音频录制。CD 和数字音频带（DAT）正在成为通用品，事实证明它们是录制和播放音乐的更好方式。乐器和人的声音产生模拟信号，人耳也是对模拟信号作出反应，那么，哪里需要数字格式？虽然所要的处理看上去需要额外的工作，唱片业还是把模拟信号转换成数字格式存储在 CD 或 DAT 上，CD 或 DAT 播放器在播放之前再把这些数字电平转回相应的

*复习题的答案见每章末尾。

模拟信号。

为了精确地将复杂的音乐信号表示为数字位串(“1”和“0”组成的数字串),必须对模拟信号采样,如图1-2(a)所示。图示的第一次转换发生在模拟信号上升部分的一点上。在该点,模拟电压为2V。2V被转换为数字位串0000 0100,如图1-2(b)所示。第二次转换时,在图1-2(a)中可以看出,模拟信号仍然在上升阶段,而第三次转换发生在最高点。这个过程将在整首音乐被录制时持续。要想回放音乐,要将这一过程反过来。数字到模拟的转换被用来重建原始的模拟信号(见图1-3)。如果对原始模拟信号采样足够多,几乎可以得到原始音乐的完全复制。

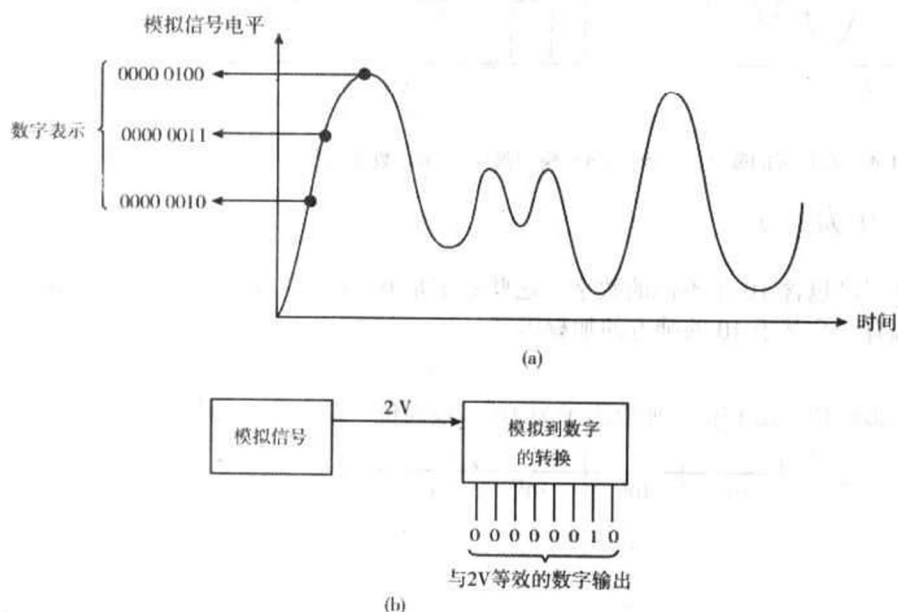


图1-2 (a) 一个模拟波形上3个数据点的数字表示;
(b) 把2V的模拟电压转换为数字输出串

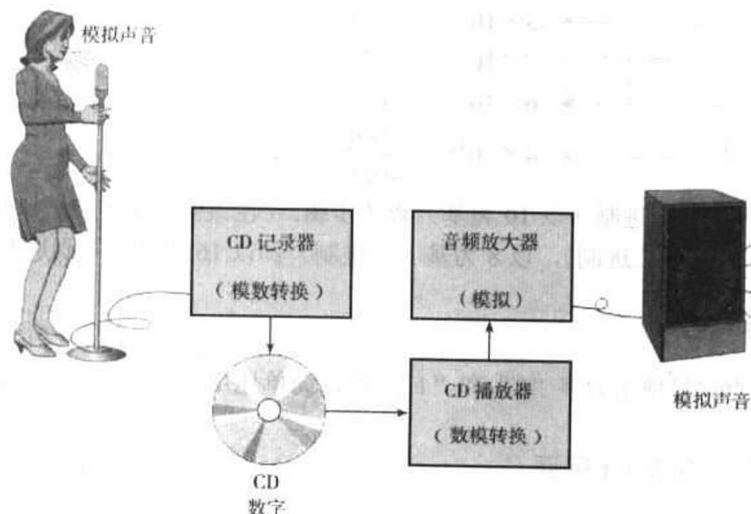


图1-3 将模拟量转换为数字量再转回模拟量的过程

提示: 模拟—数字(A-D)和数字—模拟(D-A)转换的更有趣的应用是在CD音频系统中。一些模拟—数字和数字—模拟转换的例子在第15章中介绍。

在PC机里: 要精确表示一首典型的4分钟的歌曲需要多达3亿个开/关电平(比特)。为了在Internet上高效传输, 采用了诸如MP3的压缩方式以减少比特数。(要获得关于这个规范的信息, 可访问附录A列出的MP3网站)

在PC机里: CD播放器利用激光束的光学原理来寻找在光线下旋转的CD上的凹坑或平面。这些由CD刻录机烧制在CD上的小坑代表了播放器重建原始数据所需的数字信息中的“1”和“0”。一个CD中包含有650MB字节的数字“1”和“0”。(1字节=8位)DVD的密度比CD更高, 它可以存储多达170亿字节。

模拟信号转换成数字信号，再还原成模拟信号的过程当然有额外的工作，但数字录音真正消除了电磁噪声和磁带杂音等早期音频录制方法所具有的问题。这些问题被消除的原因是当失真被引入数字信号时，数字电平中的轻微变化并不会将“开”电平变为“关”电平，而在模拟量中微小的变化都很容易被人耳捕捉到，如图 1-4 所示。

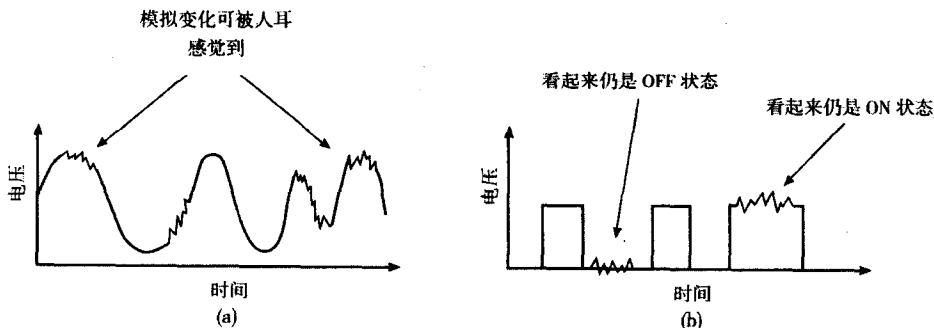


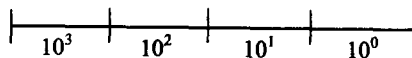
图 1-4 把有害的噪声加入到：(a) 模拟波形；(b) 数字波形

1-3 十进制系统（以 10 为基）

在十进制系统中，每个位置可包含 10 个不同的数字。这些数字是 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9。在一个多位数中，每个位置都有一个基于 10 的乘方的加权因子。

例 1-1

在一个四位十进制数中，最低位（最右位）加权因子为 10^0 ；最高位（最左位）的加权因子为 10^3 ：



其中， $10^3=1000$

$10^2=100$

$10^1=10$

$10^0=1$

要计算十进制数 4623，把各位上的数字和适当的加权因子相乘：

4	5	2	3		
				$3 \times 10^0 =$	3
				$2 \times 10^1 =$	20
				$6 \times 10^2 =$	600
				$4 \times 10^3 = +$	4000
					答案
					4623

例 1-1 说明了其他进制的数化为等价的十进制（以 10 为基）数的步骤。（在该例子中，我们将十进制数化为十进制数。）现在来看以 2 为基（二进制），以 8 为基（八进制）和以 16 为基（十六进制）。

1-4 二进制系统（以 2 为基）

数字电子学使用二进制系统是因为它只使用数字“0”和“1”，可以简单地用两个不同的电平表示，如 $+5V=1$ ， $0V=0$ 。

二进制各位上的加权因子是 2 的幂，如表 1-1 所示。

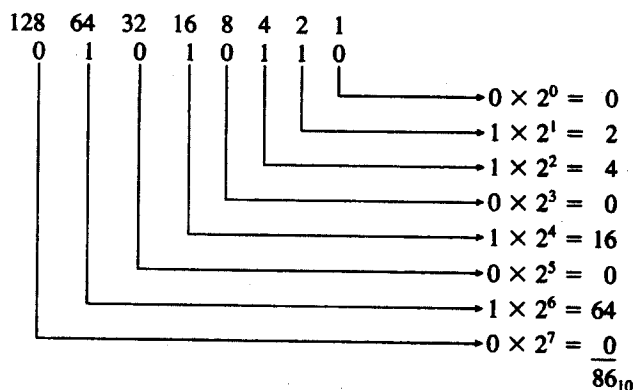
表 1-1 为 2 的幂的二进制加权因子

128	64	32	16	8	4	2	1	$2^0 = 1$
2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	$2^1 = 2$
								$2^2 = 4$
								$2^3 = 8$
								$2^4 = 16$
								$2^5 = 32$
								$2^6 = 64$
								$2^7 = 128$

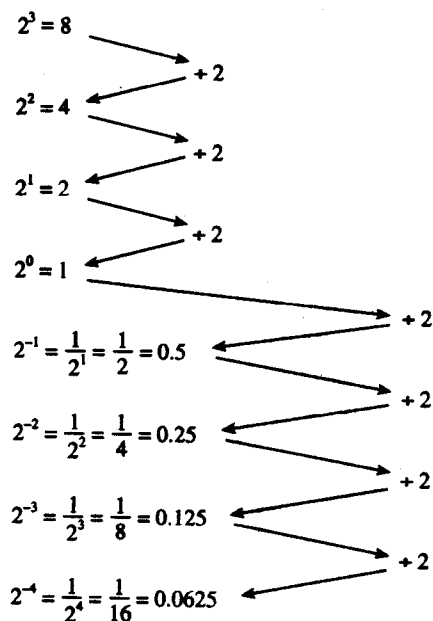
例 1-2

把二进制数 01010110_2 转换为十进制数。(注意, 脚标 2 用来表示 01010110 是以 2 为基的数。也可以使用大写字母 B, 即 $01010110B$ 。)

解: 把各二进制位与适当的加权因子相乘并求和得出结果。



尽管在数字系统中使用较少, 对小于 1 的数的二进制加权是可能的 (二进制分数)。要产生这些加权因子, 当数以 2 的幂递减时将加权因子除以 2 即可。这也可以用于说明为什么 2^0 等于 1, 而不是 0 (见图 1-5)。

图 1-5 依次除以 2 所产生分数的二进制加权因子, 并且说明 2^0 等于 1