

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
电子信息

数字电子技术 基础

林 涛 主编
楚 岩 田莉娟 林 薇 编著

清华大学出版社



高等学校教材
电子信息

数字电子技术基础

林 涛 主编
楚 岩 田莉娟 林 薇 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据新修订的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》，并结合多年的教学实践经验编写而成。主要内容包括：数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、脉冲波形的产生与变换、A/D 与 D/A 转换、可编程逻辑器件、VHDL 在数字系统分析与设计中的应用举例等。各章前有内容提要、学习提示，章末有小结、思考题与习题。

本书可作为高等学校电气信息类、电子信息类、计算机类及相近专业本科生数字电子技术基础教材和教学参考书，也可作为有关工程技术人员的参考书。

版权所有，翻印必究。举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术，用户可通过在图案表面涂抹清水，图案消失，水干后图案复现；或将表面膜揭下，放在白纸上用彩笔涂抹，图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础 / 林涛主编. —北京：清华大学出版社，2006.6

ISBN 7-302-12064-1

I. 数… II. 林… III. 数字电路-电子技术-高等学校-教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 127514 号

出 版 者：清华大学出版社 地 址：北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编：100084
社 总 机：010-62770175 客 户 服 务：010-62776969

组稿编辑：郑寅堃

文稿编辑：魏江江

印 刷 者：北京季蜂印刷有限公司

装 订 者：三河市化甲屯小学装订二厂

发 行 者：新华书店总店北京发行所

开 本：185×260 印张：19.5 字数：459 千字

版 次：2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 7-302-12064-1/TN·285

印 数：1~4000

定 价：25.00 元

编审委员会成员

高等学校教材·电子信息

- 王志功 (东南大学 教授)
王成山 (天津大学电气与自动化工程学院 教授)
王煦法 (中国科学技术大学信息科学技术学院 教授)
王新龙 (南京大学 教授)
王成华 (南京航空航天大学 教授)
方 勇 (上海大学 教授)
方建安 (东华大学信息科学与技术学院 教授)
邓元庆 (解放军理工大学理学院基础部 教授)
刘景夏 (解放军理工大学理学院基础部 副教授)
冯久超 (华南理工大学 教授)
冯全源 (西南交通大学 教授)
刘惟一 (云南大学信息学院 教授)
刘复华 (武汉理工大学 教授)
朱 杰 (上海交通大学 教授)
朱守正 (东北师范大学 教授)
张秉权 (沈阳工业学院 教授)
张丽英 (长春大学电子信息工程学院 教授)
张德民 (重庆邮电学院通信与信息工程学院 教授)
迟 岩 (集美大学信息工程学院 教授)
严国萍 (华中科技大学 教授)
何明一 (西北工业大学 教授)
何怡刚 (湖南大学电气与信息工程学院 教授)
何 晨 (上海交通大学 教授)
余成波 (重庆工学院 教授)
林 君 (吉林大学 教授)
金炜东 (西南交通大学 教授)
郑永果 (山东科技大学信息学院 教授)
刘志军 (山东大学 教授)
赵鹤鸣 (苏州大学电子信息学院 教授)
徐佩霞 (中国科学技术大学 教授)

- 郭从良 (中国科学技术大学电子科学与技术系 教授)
郭维廉 (天津大学电子信息工程学院 教授)
曾凡鑫 (重庆通信学院 教授)
曾喆昭 (长沙理工大学电气与信息工程学院 教授)
曾孝平 (重庆大学通信工程学院 教授)
彭启琮 (电子科技大学 教授)
谢显中 (重庆邮电学院 教授)
樊昌信 (西安电子科技大学通信工程学院 教授)

改革开放以来，特别是党的十五大以来，我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就，高等教育实现了历史性的跨越，已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上，高等教育规模取得如此快速的发展，创造了世界教育发展史上的奇迹。当前，教育工作既面临着千载难逢的良好机遇，同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾，是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月，教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作，提高教学质量的若干意见》，提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月，教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件，指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分，精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间（2003—2007年）建设1500门国家级精品课程，利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放，以实现优质教学资源共享，提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作，提高教学质量的若干意见》精神，紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”，在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下，我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”（以下简称“编委会”），旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划，讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师，其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求，“编委会”一致认为，精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求，处于一个比较高的起点上；精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要，要有特色风格、有创新性（新体系、新内容、新手段、新思路，教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量）、先进性（对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、代

表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

清华大学出版社经过近 20 年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材经过 20 多年的精雕细刻,形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

电子技术是目前发展最快的技术领域之一，数字电子技术在数字集成电路集成度越来越高的情况下，开发数字系统的实用方法和用来实现这些方法的工具已经发生了变化。特别是可编程逻辑器件的大量应用，传统的 74 系列标准逻辑器件在应用系统的设计中应用越来越少。但是，在数字电子技术中作为理论基础的基本原理并没有改变，理解大规模集成电路中的基本模块结构仍然需要基本单元电路的有关概念。因此，作为数字电子技术基础课程，介绍数字系统中常用的基本单元电路、基本功能模块及基本的分析方法仍然是其基本内容。本书的主要内容包括：数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、脉冲波形的产生与变换、A/D 与 D/A 转换和可编程逻辑器件等。

尽管传统的基本单元电路对于理解数字系统基本构成模块的工作原理具有重要意义，但是必须认识到，电子技术的新进展使数字系统和数字逻辑电路的工作过程出现了新的描述方法，未来的数字系统设计，对描述方法的理解可能比具体的硬件结构更重要。把硬件描述语言作为数字电子技术基础的内容之一，已出现在新修订的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》中。本书在编写过程中注意到电子技术领域的这些新变化，在教材内容中引入了 VHDL 语言及基本逻辑器件的硬件描述语言的描述方法。VHDL 语言作为目前较为流行的硬件描述语言，它本身具有一套完整的语法体系，数字电子技术基础的课程性质不允许全面介绍 VHDL 语言。因此，如何用较少的篇幅，在介绍 VHDL 语言的基本语法结构时，使读者在理解基本逻辑器件的 VHDL 语言描述不会出现较大的障碍，这是值得探讨的问题。本书在编写中采用了较为实用的方法，即围绕基本元器件的 VHDL 描述需求介绍 VHDL 语言的基本语法，把 VHDL 语言的介绍融入各个基本数字功能器件的介绍之中，这种做法是否合适，还有待教学实践的检验。读者若希望深入了解 VHDL 语言，请阅读专门介绍 VHDL 语言的教材或相关资料。另外，读者在阅读本书时，若跳过有关 VHDL 的内容，不影响其他内容的连贯性。

参加本书编写工作的有：田莉娟（第 1、3、6 章）、林薇（第 2、8 章）、楚岩（第 4、5、7 章）、林涛（第 9、10 章及 1.7、3.6、4.4、5.6 节），林涛负责制定编写提纲和全书的统稿工作。

限于编者的水平，书中难免会有缺点和错误，欢迎读者批评指正。

联系方式：E-mail: dgdzjs@chd.edu.cn

编者

2006 年 5 月

读者意见反馈

亲爱的读者：

感谢您一直以来对清华版计算机教材的支持和爱护。为了今后为您提供更优秀的教材，请您抽出宝贵的时间来填写下面的意见反馈表，以便于我们更好地对本教材做进一步的改进。同时如果您在使用本教材的过程中遇到了什么问题，或者有什么好的建议，也请您来信告诉我们。

地址：北京市海淀区双清路学研大厦 A 座 708 (100084)

电话：62770175-4604

电子邮件：weijj@tup.tsinghua.edu.cn

教材名称：数字电子技术基础

ISBN：7-302-12064-1/TN·285

个人资料

姓名：_____ 年龄：_____ 所在院校/专业：_____

文化程度：_____ 通信地址：_____

联系电话：_____ 电子信箱：_____

您使用本书是作为：指定教材 选用教材 辅导教材

您对本书封面设计的满意度：

很满意 满意 一般 不满意 改进建议_____

您对本书印刷质量的满意度：

很满意 满意 一般 不满意 改进建议_____

您对本书的总体满意度：

从语言质量角度看 很满意 满意 一般 不满意

从科技含量角度看 很满意 满意 一般 不满意

本书最令您满意的是：

指导明确 内容充实 讲解详尽 实例丰富

您认为本书在哪些地方应进行修改？（可附页）

您近期有何教材出版计划？（可附页）

电子教案支持

敬爱的教师：

为了配合本课程的教学需要，本教材配有配套的电子教案，有需求的教师可以与们联系，我们将向使用本教材进行教学的教师免费赠送电子教案，希望有助于教学活动的开展。相关信息请拨打电话 62770175-4604 或发送电子邮件至 weijj@tup.tsinghua.edu.cn 咨询，也可以到清华大学出版社主页（<http://www.tup.com.cn>）上查询。

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字技术的特点	1
1.1.2 数字电路的发展	2
1.1.3 数字电路的研究对象、分析工具及描述方法	3
1.2 数制与码制	3
1.2.1 基数、位权的基本概念	3
1.2.2 几种常用的数制	4
1.2.3 数制之间的相互转换	5
1.2.4 码制	7
1.3 三种基本逻辑运算	9
1.3.1 与运算	9
1.3.2 或运算	10
1.3.3 非运算	10
1.3.4 常用复合逻辑	11
1.4 逻辑代数的基本定理	12
1.4.1 逻辑代数的基本定律	12
1.4.2 基本规则	13
1.4.3 基本定律的应用	14
1.5 逻辑函数及其表示方法	15
1.5.1 逻辑函数的定义	15
1.5.2 逻辑函数的表示方法	16
1.6 逻辑函数的化简	18
1.6.1 逻辑函数化简的意义	18
1.6.2 代数化简法	19
1.6.3 卡诺图化简法	21
1.7 VHDL 语言基础	29
1.7.1 VHDL 语言的标识符、常量及信号	29
1.7.2 VHDL 的数据类型	30

1.7.3	VHDL 语言的运算操作符	32
1.7.4	VHDL 语言的基本设计单元	33
	本章小结	35
	思考题与习题	36
第 2 章	逻辑门电路	39
2.1	最简单的与、或、非门电路	39
2.1.1	二极管的开关特性	39
2.1.2	三极管的开关特性	40
2.1.3	简单的与、或、非门电路	42
2.2	TTL 与非门电路	45
2.2.1	TTL 与非门的工作原理	45
2.2.2	TTL 与非门的外特性	48
2.2.3	TTL 与非门的主要参数	50
2.2.4	抗饱和 TTL 电路	55
2.2.5	集电极开路与非门和三态与非门	56
2.3	CMOS 门电路	60
2.3.1	NMOS 逻辑门电路	60
2.3.2	CMOS 逻辑门电路	61
2.3.3	CMOS 传输门	64
2.4	逻辑门电路使用中的几个实际问题	65
2.4.1	各种门电路之间的接口问题	65
2.4.2	多余输入端的处理措施	67
2.4.3	集成逻辑门器件的选择	67
	本章小结	68
	思考题与习题	68
第 3 章	组合逻辑电路	72
3.1	概述	72
3.1.1	组合逻辑电路的特点	72
3.1.2	组合逻辑电路逻辑功能描述方式	73
3.1.3	本章重点学习内容	73
3.2	组合逻辑电路的分析方法	73
3.3	小规模组合逻辑电路的设计方法	76
3.4	常用组合逻辑功能器件	78
3.4.1	编码器	79
3.4.2	译码器	83
3.4.3	数据分配器与数据选择器	90

3.4.4	加法器	95
3.4.5	数值比较器	102
3.5	组合逻辑电路中的竞争-冒险	105
3.5.1	产生竞争-冒险的原因	105
3.5.2	冒险现象的判别	106
3.5.3	消除冒险现象的方法	108
3.6	常用组合逻辑功能器件的 VHDL 语言描述	110
3.6.1	VHDL 语言的主要描述语句	110
3.6.2	常用组合逻辑功能器件的 VHDL 描述	113
	本章小结	118
	思考题与习题	119
第 4 章	触发器	124
4.1	概述	124
4.2	触发器的电路结构与逻辑功能描述	124
4.2.1	基本 RS 触发器	125
4.2.2	同步触发器	126
4.2.3	主从触发器	129
4.2.4	边沿触发器	134
4.3	触发器的脉冲工作特性	135
4.3.1	主从 JK 触发器的脉冲工作特性	135
4.3.2	负边沿触发 JK 触发器的脉冲工作特性	136
4.4	触发器的 VHDL 语言描述	136
4.4.1	时钟信号的 VHDL 描述	137
4.4.2	D 触发器的 VHDL 描述	137
4.4.3	JK 触发器的 VHDL 描述	139
4.4.4	RS 触发器的 VHDL 描述	140
	本章小结	142
	思考题与习题	142
第 5 章	时序逻辑电路	145
5.1	时序逻辑电路的描述方法	145
5.1.1	时序逻辑电路的基本结构	145
5.1.2	时序逻辑电路的描述方法	146
5.2	时序逻辑电路的分析方法	146
5.2.1	同步时序逻辑电路分析举例	147
5.2.2	异步时序电路分析举例	150
5.3	寄存器和移位寄存器	151

5.3.1 寄存器	151
5.3.2 移位寄存器	152
5.4 计数器	154
5.4.1 2^n 进制计数器组成规律	154
5.4.2 集成计数器	157
5.5 常见时序逻辑电路的设计方法	161
5.5.1 任意进制计数器的构成方法	161
5.5.2 顺序脉冲发生器	164
5.5.3 序列信号发生器	164
5.6 常见时序逻辑电路的 VHDL 语言描述	166
5.6.1 生成语句及元件例化语句	166
5.6.2 寄存器的 VHDL 描述	168
5.6.3 计数器的 VHDL 描述	170
本章小结	172
思考题与习题	173
第 6 章 半导体存储器	176
6.1 概述	176
6.2 只读存储器	178
6.3 随机存储器	186
本章小结	192
思考题与习题	193
第 7 章 脉冲波形的产生与变换	196
7.1 概述	196
7.2 多谐振荡器	197
7.2.1 最简单的环形振荡器	197
7.2.2 带 RC 延迟的环形振荡器	197
7.2.3 采用石英晶体的多谐振荡器	200
7.3 单稳态触发器	201
7.3.1 门电路构成的单稳态触发器	201
7.3.2 集成单稳态触发器	204
7.3.3 单稳态触发器的应用	206
7.4 施密特触发器	207
7.4.1 门电路构成的施密特触发器	208
7.4.2 施密特触发器的应用	210
7.5 555 定时器及其应用	211
7.5.1 电路组成及工作原理	211

7.5.2	555 构成的施密特触发器	212
7.5.3	555 构成的单稳态触发器	213
7.5.4	555 构成多谐振荡器	214
	本章小结	215
	思考题与习题	215
第 8 章	数/模与模/数转换电路	219
8.1	概述	219
8.2	数/模转换电路	220
8.2.1	D/A 转换的基本思路	220
8.2.2	典型的 D/A 转换电路	221
8.2.3	D/A 转换器的输出方式	224
8.2.4	D/A 转换器的主要技术参数	226
8.2.5	集成 D/A 转换器举例	227
8.3	模数转换电路	228
8.3.1	A/D 转换的基本原理	228
8.3.2	直接 A/D 转换器	231
8.3.3	间接 A/D 转换器	235
8.3.4	A/D 转换器的主要技术参数	238
8.3.5	集成 A/D 转换器举例	239
	本章小结	239
	思考题与习题	240
第 9 章	可编程逻辑器件	243
9.1	概述	243
9.1.1	可编程逻辑器件发展过程简介	243
9.1.2	PLD 的分类	244
9.1.3	PLD 中门电路的习惯表示方法	246
9.2	PLA 和 PAL 的电路结构	246
9.2.1	PLA 的电路结构与应用举例	247
9.2.2	PAL 的电路结构与应用举例	247
9.3	通用阵列逻辑 (GAL)	253
9.3.1	GAL 器件的基本结构	253
9.3.2	可编程输出逻辑宏单元 OLMC	253
9.3.3	GAL 器件的特点	258
9.4	高密度可编程逻辑器件 HPLD	259
9.4.1	典型的 CPLD 结构	260
9.4.2	现场可编程门阵列 FPGA	265

本章小结	268
思考题与习题	269
第 10 章 VHDL 在数字系统分析与设计中的应用举例	270
10.1 键盘编码器电路组成及程序分析	270
10.2 具有基本功能的数字时钟电路的设计	274
10.2.1 设计要求及系统框图	275
10.2.2 从上到下的层次化设计	276
10.2.3 从下向上创建模块	278
10.2.4 设计顶层模块的 VHDL 源程序	284
10.3 简易交通信号灯控制电路的设计	287
10.3.1 设计要求及系统框图	287
10.3.2 从上到下的层次化设计	289
10.3.3 从下向上创建模块	290
本章小结	294
思考题与习题	294
参考文献	295

数字逻辑基础

内容提要：本章主要介绍数制、代码、三种基本逻辑运算、逻辑代数的基本定理、逻辑函数及其化简方法。

学习提示：二进制数及二进制代码是数字系统中信息的主要表示形式；与、或、非三种基本逻辑运算是逻辑代数的基础，熟练掌握三种基本逻辑运算是正确理解逻辑代数基本定理的前提。逻辑代数是分析数字电路和系统的基本工具，因此，正确理解并熟练掌握逻辑代数的基本定理、逻辑函数的代数化简法和卡诺图化简法是深入学习数字电子技术的关键。

采用硬件描述语言对数字系统进行描述是现代数字系统设计的发展方向，逐步了解VHDL硬件描述语言十分必要。

1.1 概 述

电子电路分为模拟电路和数字电路两大部分，模拟电路所处理的信号是在时间上和数值上连续的模拟信号，数字电路则用于处理在时间上和数值上不连续的离散信号或者叫做数字信号。如今，数字电路与技术已广泛应用于计算机、自动化装置、医疗仪器与设备、交通、电信、文娱活动等几乎所有的生产生活领域中，可以毫不夸张地说，几乎每人每天都在与数字技术打交道。本章将介绍有关数字电子技术的一些基本概念、基本理论与基本分析方法，它们对于从最简单的开关接通和断开到最复杂的计算机等所有的数字系统都是适用的。

1.1.1 数字技术的特点

经常看到日常生活中的电子仪器及相关技术中，过去曾用模拟电路实现的功能，如今越来越多地被数字技术所替代，向数字技术转移的主要原因在于数字技术具有下述优点：

(1) 数字系统容易设计。这是因为数字系统所使用的电路是开关电路，开关电路中