



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数字电子技术基础 简明教程

第四版

原著 余孟尝
修订 丁文霞 齐明

高等教育出版社

高等教育“十一五”国家级规划教材

数字电子技术基础 简明教程

第四版

原著 余孟尝

修订 丁文霞 齐明



高等教育出版社·北京

内容简介

本书第四版的修订工作,仍以“教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会”最新制订的“电子技术基础课程教学基本要求”为主要依据,秉承了第三版教材的主体结构和内容,增加了 HDL 语言简介和高密度 PLD 及数字系统设计两章。

全书内容共 9 章,分别是逻辑代数基础、门电路、HDL 语言简介、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、555 定时器与脉冲产生整形电路、数模和模数转换电路、高密度 PLD 及数字系统设计。

全书简明扼要,深入浅出,便于自学。结合新形态教材的特点,本书为主要知识点链接了“重难点视频”“思考提升”“拓展阅读”等数字化资源。可作为高等学校电气类、电子信息类、自动化类、计算机类、机械类和仪器类及其他相近专业的教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员和科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础简明教程 / 余孟尝原著;丁文霞, 齐明修订.--4 版.--北京:高等教育出版社,2018. 12

ISBN 978-7-04-050291-6

I. ①数… II. ①余… ②丁… ③齐… III. ①数字电路-电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 171568 号

策划编辑 欧阳舟

责任编辑 平庆庆

封面设计 李卫青

版式设计 杜微言

插图绘制 于博

责任校对 胡美萍

责任印制 赵义民

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印刷 固安县铭成印刷有限公司
开本 889mm×1194mm 1/16
印张 26
字数 670 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 1985 年 9 月第 1 版
2018 年 12 月第 4 版
印 次 2018 年 12 月第 1 次印刷
定 价 52.00 元

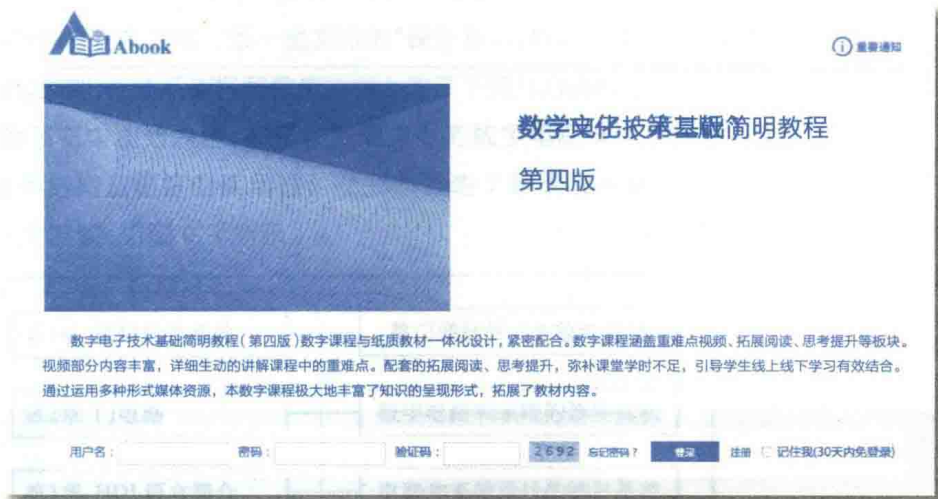
本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 50291-00

数字电子技术基础 简明教程

第四版

原著 余孟尝
修订 丁文霞
齐明

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1255831>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至abook@hep.com.cn。



<http://abook.hep.com.cn/1255831>

前言

本书第四版的修订工作,以“教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会”最新制订的“电子技术基础课程教学基本要求”为主要依据和本书前三版一贯坚持的“保证基础,精选内容,加强概念,面向更新,联系实际,利于自学”为编写原则,在体系架构和具体内容上做了下列几方面的修订。

全书体系上略有调整,主要删除了书中部分内容,补充了目前主导的数字电路设计方法,以使教程具有更加完备、系统、科学的体系结构及更好的实用性。全书章节由7章改成9章,分成“体系基础”“体系主体”“体系延拓”三大模块,如图0.1所示。

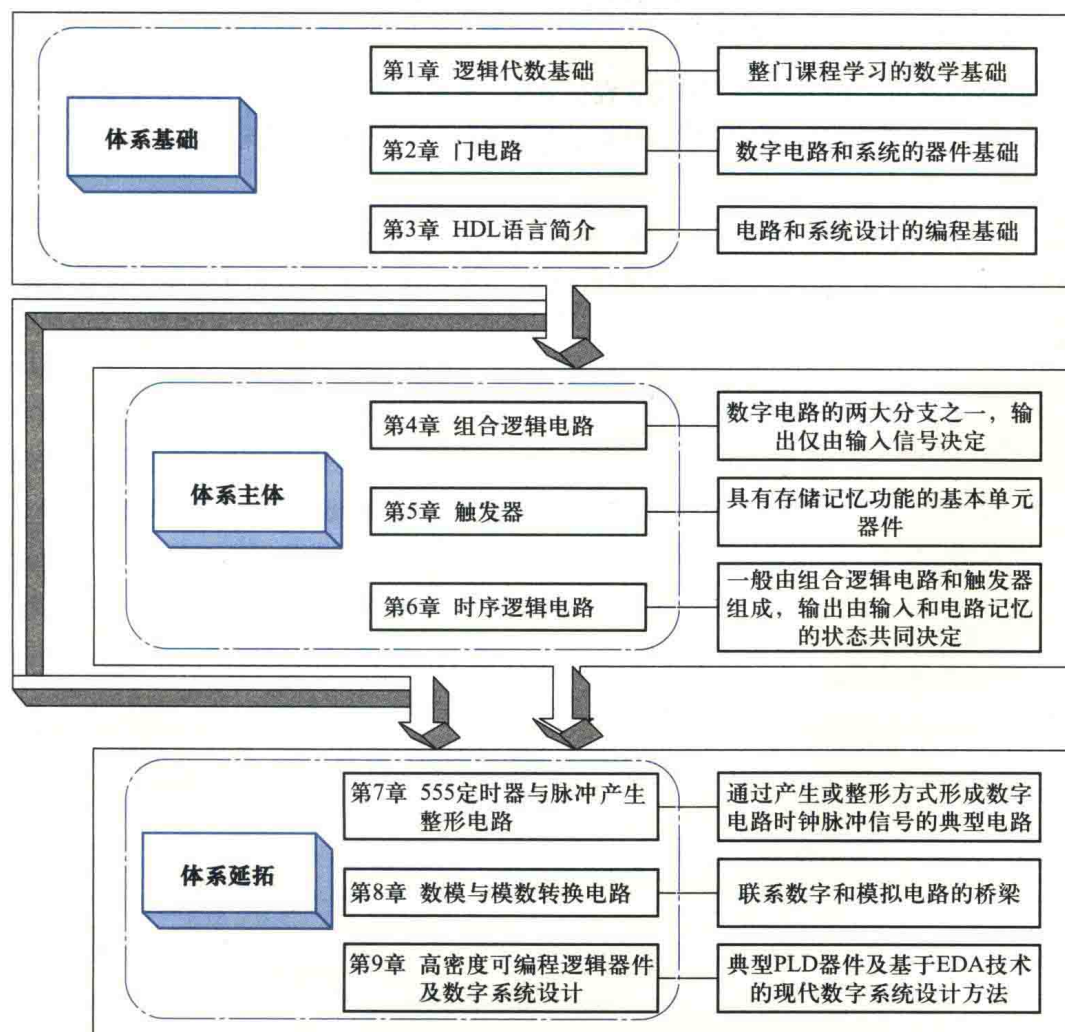


图 0.1 全书体系结构

其中,新增的两章:一是将 HDL 语言独立为一章(第 3 章)。因为 HDL 语言是目前 EDA 设计的主流输入模式,实用性很强,但此部分内容放在“逻辑代数基础”章节中不太合适,所以单列成章,构成数字系统设计的软件编程基础。同时 MUX+Plus II 目前已基本被淘汰,所以书中该部分内容被删除,且由于更新发展较快,教程正文中不再介绍具体的某种 EDA 软件平台,学生可根据自己的兴趣自由选择学习;二是增加了高密度可编程逻辑器件及现代数字系统设计的内容(第 9 章),这是目前数字电路和系统流行设计模式,增加此部分内容可以为学生建立起与之相对应的基础知识结构和设计理念。

本书秉承了第三版教材的主体结构和内容,仅部分内容进行了调整和增删。全书结合新形态教材的特点,为主要知识点链接了“授课视频”“思考提升”“拓展阅读”“仿真演示”等数字化资源,登录配套网站或扫描二维码可观看相应的数字资源,形成“立体化”教材模式,从而依托现代数字化网络技术对课程理论和实践学习进行深度、广度拓展和延伸。

此外,为进一步增强教材的完备性和体系性,方便读者阅读,本书补充了以下参考资料:
1. 《GB/T 4728. 12—2008 电气简图用图形符号 二进制逻辑元件》简介; 2. 基本逻辑单元图形符号对照表。

本书可以作为高等院校理工科有关专业讲授“数字电子技术基础”课程的教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员学习参考。

本次修订由丁文霞和齐明执笔,丁文霞修订第 1 至第 6 章,编写拓展阅读和思考提升部分。齐明修订第 7 至第 9 章,制作难点解析视频。

本书的改版得到了国防科技大学数电课程组的部分教师和清华大学电子学教研组的许多老师的关心和支持,在此表示衷心的感谢!同时,特别感谢华中科技大学罗杰老师和齐鲁工业大学电气学院张迎春老师提出的宝贵的修改意见。

由于编者水平有限,书中难免会有一些不妥之处,敬请广大读者批评指正,以帮助我们不断改进。

本书第一、二、三版主编余孟尝教授在第四版修订之前仙逝,在此表达对他的深切怀念之情,并以此书谨志纪念。

编者

2018 年 5 月



第三版 前言

在本书第三版修订工作中,主要依据“教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会”最新制订的“电子技术基础课程教学基本要求”,和本书第一、二版一贯坚持的编写原则——“保证基础,精选内容,加强概念,面向更新,联系实际,利于自学。”在具体内容和体系上,做了下列几方面的修订。

首先,引入了 EDA 技术的基础知识,并放在第 1 章。EDA 技术为分析和设计数字电路提供了一种全新的方法,编入教材,一可适应数字化和专用集成电路新时代对“数字电子技术”课程提出的新要求;二可使读者在微型计算机上,对各章典型电路进行功能验证;三可为后续数字系统设计课的学习打下必要的基础。

其次,对传统分析、设计方法,则突出了主要思路,而避免了一些细节阐述,删去了一些分析、设计实例。在讲述基本概念、典型电路工作原理时,仍从传统分析综合思路出发进行讲解,以坚持“保证基础,加强概念”的原则。

最后,对课程内容进行了精选,删去了许多次要内容,例如逻辑代数中的异或运算公式、展开定理、对偶规则以及公式化简法和图形化简法中许多举例等;集成门电路中内部电路的定量估算、OC 门负载电阻在各种情况下的定量计算等;第 4 章中的主从触发器、不同功能触发器之间的转换等;时序电路中异步计数器设计举例、三态逻辑和微机总线接口、可编程计数器等。对于第 1~5 章中的思考题与习题,也根据课程基本要求进行了较多删减。

本书可与《模拟电子技术基础简明教程》(第三版)一书配套使用,同时又有相对的独立性,可以作为高等院校理工科有关专业讲授“数字电子技术”课程的教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员学习参考。

参加本书修订工作的有袁海林(第 1、5 章)、李大义(第 6 章)、余孟尝(第 2、3、4、7 章)、阎捷、秦俭、陈莉平(仿真例题、习题与实验)。余孟尝担任主编,负责全书的策划、组织和定稿。安东凤、米琪玲参加了计算机输入及绘图工作。在修订过程中,华成英参加了大纲的讨论,并提出了许多宝贵意见,同时也得到了清华大学电子学教研组许多老师的关心和支持。

北京工业大学自动化系陆培新教授担任本书主审,他在百忙之中认真审阅了全部修订稿,提出了许多中肯的修改意见。对以上同志的关心、支持、指导和帮助表示衷心感谢。这里要特别感谢 ALTERA 国际有限公司中国区大学项目经理徐平波先生,他提供了 ALTERA 公司同意我们将该公司的 MAX+plus II 软件制成光盘随本书发行的同意书。

由于编者水平有限,书中一定会有一些不妥之处,敬请广大读者批评指正,帮助我们不断改进。

编者

2006年1月



第二版 前言

《数字电子技术基础简明教程》一书,自 1985 年出版以来,被许多院校和培训部门选为教材,得到广大读者的关心。但是,由于电子技术的飞速发展及教改的进一步深入,原书中有些内容已显得比较陈旧,而且在课程体系和讲授方法方面,也需做必要调整和改进。因此,在初版基础上进行了修订,以便更好地适应当前电子技术课程教学的需要。

在本书第二版修订工作中,主要的依据是原国家教育委员会颁发的“电子技术基础课程教学基本要求(1995 年修订版)”,同时,继续遵循本书第一版的编写原则:“保证基础,精选内容,加强概念,面向更新,联系实际,利于自学”。在具体内容和体系上,做了下列几方面的修订。

首先,为了适应现代电子技术迅速发展的需要,能够较好地面向 21 世纪,面向数字化和专用集成电路的新时代,在保证基本概念、基本原理和基本方法的前提下,基本上删去了分立元件内容,压缩了集成电路电气特性的讨论和内部电路工作原理的分析,而突出了综合能力的培养训练以及集成电路逻辑特性和工作特点的介绍。

其次,在本书中,把逻辑代数基础作为第一章,以便于能更好地从逻辑分析和综合角度组织、讲解课程主要内容。而原书的第一章半导体器件的基本知识则被删去了(主要内容移到了《模拟电子技术基础简明教程》一书中),半导体二极管、三极管和 MOS 管的开关特性,只作为门电路中的一节,做简单介绍。

最后,在修订时,注意保持和发扬原书的风格和特点,力求简明扼要、深入浅出和便于自学。在内容的安排和介绍中不仅思路清晰,而且注意每一个问题提出及解决问题步骤的归纳,在每一章的末尾还专门安排了反映基本教学要求的自我检查题。

本书中注有“*”号者是选讲内容,可根据学时多少决定取舍。

本书可与《模拟电子技术基础简明教程》(第二版)一书配套使用,同时又有相对的独立性,可以作为高等院校工科有关专业讲授数字电子技术课程的教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员学习参考。

本书修订工作由余孟尝完成,并担任主编。在修订过程中,得到了清华大学电子学教研组阎石教授、华成英主任和其他许多老师的关心和支持。

北京工业大学自动化系陆培新教授担任本书的主审工作,他在百忙中认真审阅了全部修订稿,提出了中肯、详细的修改意见。虞光楣教授也十分关心本书的修订工作,提出了许多有益的意见。仅对以上同志的关心、支持、指导和帮助表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中一定仍会有许多不妥之处,敬请广大读者批评指正,帮助我们不断改进。

编者

1998年12月



第一版 前言

我们编写的《模拟电子技术基础》(童诗白主编)和《数字电子技术基础》(阎石主编)试用教材,自1980年和1981年分别出版以来,我校本科有关专业和中央广播电视大学“电子技术基础”课程曾经多次采用并得到了其他高等学校、企业部门有关同志的关心。在为84届中央广播电视大学准备教材时,由于学时大幅度削减,原书显得篇幅过于庞大,容易造成学生负担过重。同时考虑到我校各个专业对电子技术基础课的教学要求,也迫切需要有一套比较简明的教材。为此,我们在上述两套教材的基础上,按照总授课时间为120学时(不包括实验)的编写大纲,改编成目前这套简明教程。

我们编写的原则是:“保证基础,精选内容,加强概念,面向更新,联系实际,利于自学”。目的是在保证学生把基本内容学到手的前提下,培养学生处理实际问题和自学的能力。考虑到当前电子技术飞速发展、日益更新的趋势,适当地加强了新技术的内容。例如在数字电子技术部分,以小规模和中规模集成电路为主,适当介绍大规模集成电路,分立元件电路基本删去;在模拟电子技术部分,在保证基本概念、基本原理和基本分析方法的前提下,大幅度地压缩了各种分立元件电路的设计和其他次要内容,着重介绍以集成运算放大电路为主的模拟集成电路的功能和应用。从教学方法上,我们力图多用物理概念来阐明问题的实质,避免大量地推导公式。

关于模拟电路和数字电路的先后顺序问题,在国内外先模拟后数字、先数字后模拟两种安排都有。在编写本教程时,为了处理好电路原理、电子技术和计算机原理几门课程之间的衔接关系,便于安排教学计划,把数字电路安排在模拟电路前面。但是,只要把半导体器件的基本知识一章放在模拟电路之前介绍,也可以先讲模拟电路。

本书数字部分由余孟尝改编,模拟部分由杨素行改编。全部编写工作是在童诗白教授和阎石副教授的具体组织下进行的。童诗白教授不仅为改编提出了编写原则,指导制定了编写大纲,与执笔的同志多次进行讨论,而且详细审阅了模拟部分的全部初稿,阎石副教授审阅了数字部分的初稿。

参加本教程大纲讨论的还有孙家忻、孙梅生、高扬、华成英、唐竞新、徐振英、胡尔珊等同志。其中孙家忻和孙梅生同志为本书模拟部分提供了一些补充习题,唐竞新同志为数字部分提供了一些补充习题。李桂莲同志协助绘制了一部分插图。

在本教材的编写过程中,主审单位北京工业大学自动化系陆培新副教授和虞光楣副教授审阅了全稿,提出了详细修改意见。中央广播电视大学电子组的全体同志参加了教材大纲的讨论,提出了许多宝贵意见,在此一并致谢。

由于我们水平有限,加之时间过分仓促,书中一定存在不少错误和不妥之处,敬请各方面的读者予以批评指正,以便今后不断改进。

清华大学自动化系电子学教研组

1984年4月

目 录

第 1 章 逻辑代数基础	1	2.1 半导体二极管、三极管和 MOS 管的开关特性	38
内容提要	1	2.1.1 理想开关的开关特性	38
概述	1	2.1.2 半导体二极管的开关特性	38
1.1 逻辑代数的基本概念、公式和定理	5	2.1.3 半导体三极管的开关特性	41
1.1.1 基本和常用逻辑运算	5	2.1.4 MOS 管的开关特性	45
1.1.2 公式和定理	8	2.2 分立元器件门电路	49
1.2 逻辑函数的化简方法	12	2.2.1 二极管与门和或门	49
1.2.1 逻辑函数的标准与或式和最简式	12	2.2.2 三极管非门(反相器)	52
1.2.2 逻辑函数的公式化简法	16	2.3 CMOS 集成门电路	54
1.2.3 逻辑函数的图形化简法	17	2.3.1 CMOS 反相器	54
1.2.4 具有约束的逻辑函数的化简	21	2.3.2 CMOS 与非门、或非门、与门和或门	60
1.3 逻辑函数的表示方法及其相互之间的转换	25	2.3.3 CMOS 与或非门和异或门	63
1.3.1 几种表示逻辑函数的方法	25	2.3.4 CMOS 传输门、三态门和漏极开路门	65
1.3.2 几种表示方法之间的转换	27	2.3.5 CMOS 电路产品系列、主要特点和使用中应注意的几个问题	67
1.3.3 用 Multisim 进行逻辑函数的化简与变换	29	2.4 TTL 集成门电路	69
本章小结	31	2.4.1 TTL 反相器	69
习题	32	2.4.2 TTL 与非门、或非门、与门、或门、与或非门和异或门	75
第 2 章 门电路	37	2.4.3 TTL 集电极开路门和	
内容提要	37		
概述	37		

三态门	77	和设计方法	122
2.4.4 TTL 集成电路和其他 双极型集成电路	80	4.1.1 组合电路的基本分析 方法	122
本章小结	81	4.1.2 组合电路的基本设计 方法	124
习题	81	4.2 加法器	126
第3章 HDL 语言简介(*)	89	4.2.1 二进制数的算术运算	126
内容提要	89	4.2.2 加法器	130
概述	89	4.3 编码器和译码器	135
3.1 VHDL 语言基础	90	4.3.1 码制	135
3.1.1 VHDL 的主要构件	90	4.3.2 编码器	140
3.1.2 VHDL 的数据对象和 数据类型	93	4.3.3 译码器	148
3.1.3 VHDL 语言的操作符 和表达式	95	4.4 数据选择器和分配器	159
3.1.4 VHDL 基本语句	97	4.4.1 数据选择器	159
3.2 Verilog HDL 语言基础	105	4.4.2 数据分配器	163
3.2.1 Verilog HDL 基本程序 结构	105	4.5 奇偶检验器和数值比较器	165
3.2.2 Verilog HDL 词法 构成	106	4.5.1 奇偶检验器	165
3.2.3 Verilog HDL 行为 语句	108	4.5.2 数值比较器	168
3.2.4 Verilog 进程、任务和 函数	110	4.6 用中规模集成电路实现 组合逻辑函数	172
3.2.5 Verilog HDL 模块的 描述方式	112	4.6.1 用数据选择器实现 组合逻辑函数	172
3.3 VHDL、Verilog HDL 和 C 语言的性能对比	114	4.6.2 用二进制译码器实现 组合逻辑函数	175
3.4 用 HDL 描述逻辑门电路 示例	115	4.7 只读存储器	178
本章小结	119	4.7.1 ROM 的结构及工作 原理	178
习题	119	4.7.2 ROM 应用举例及 容量扩展	182
第4章 组合逻辑电路	121	4.8 组合电路中的竞争冒险	187
内容提要	121	4.8.1 竞争冒险的概念及 产生原因	187
概述	121	4.8.2 消除竞争冒险的方法	189
4.1 组合电路的基本分析方法		4.9 组合逻辑电路的 HDL 描述 及其仿真	191
		4.9.1 组合逻辑电路的 VHDL 描述	191
		4.9.2 组合逻辑电路的	

Verilog HDL 描述	193	基本分析方法	246
本章小结	197	6.1.2 时序逻辑电路的 基本设计方法	249
习题	198	6.2 计数器	256
第 5 章 触发器	203	6.2.1 计数器的特点和分类	256
内容提要	203	6.2.2 二进制计数器	258
概述	203	6.2.3 十进制计数器	275
5.1 基本触发器	204	6.2.4 N 进制计数器	288
5.1.1 用与非门组成的 基本触发器	204	6.3 寄存器和读/写存储器	295
5.1.2 用或非门组成的 基本触发器	208	6.3.1 寄存器的主要 特点和分类	295
5.1.3 集成基本触发器	210	6.3.2 基本寄存器	297
5.2 同步触发器	212	6.3.3 移位寄存器	301
5.2.1 同步 RS 触发器	212	6.3.4 移位寄存器型计数器	306
5.2.2 同步 D 触发器	214	6.3.5 读/写存储器	312
5.3 边沿触发器	218	6.4 顺序脉冲发生器	317
5.3.1 边沿 D 触发器	218	6.4.1 计数型顺序脉冲 发生器	317
5.3.2 边沿 JK 触发器	222	6.4.2 移位型顺序脉冲发生器	319
5.3.3 边沿触发器的功能 分类、功能表示方法 及转换	226	6.4.3 用 MSI 器件构成 顺序脉冲发生器	322
5.4 触发器的电气特性	233	6.5 低密度可编程逻辑器件和 时序电路的 HDL 描述	324
5.4.1 静态特性	233	6.5.1 低密度可编程逻辑器件	324
5.4.2 动态特性	233	6.5.2 时序逻辑电路的 HDL 描述	330
5.5 触发器的 HDL 描述	234	本章小结	333
5.5.1 触发器的 VHDL 描述	234	习题	333
5.5.2 触发器的 Verilog HDL 描述及应用	236	第 7 章 555 定时器与脉冲产生 整形电路	339
本章小结	238	内容提要	339
习题	239	概述	339
第 6 章 时序逻辑电路	243	7.1 555 定时器	341
内容提要	243	7.1.1 电路结构	341
概述	243	7.1.2 工作原理	343
6.1 时序逻辑电路的基本 分析和设计方法	246	7.1.3 芯片封装图和功能 示意图	344
6.1.1 时序逻辑电路的			

7.2 施密特触发器	345	8.2.3 逐次渐近型 A/D 转换器	374
7.2.1 用 555 定时器构成的 施密特触发器	345	8.2.4 双积分型 A/D 转换器	376
7.2.2 集成施密特触发器	347	8.2.5 并联比较型 A/D 转换器	378
7.2.3 施密特触发器应用 举例	349	8.2.6 A/D 转换器的转换 精度和转换速度	380
7.3 单稳态触发器	350	本章小结	381
7.3.1 用 555 定时器构成的 单稳态触发器	351	习题	381
7.3.2 集成单稳态触发器	353		
7.3.3 单稳态触发器应用 举例	356	第 9 章 高密度可编程逻辑器件 及数字系统设计	383
7.4 多谐振荡器	356	内容提要	383
7.4.1 用 555 定时器构成的 多谐振荡器	356	概述	383
7.4.2 石英晶体多谐振荡器	359	9.1 高密度可编程逻辑器件	383
7.4.3 多谐振荡器应用举例	360	9.1.1 复杂可编程逻辑 器件(CPLD)	383
本章小结	361	9.1.2 现场可编程门阵列 (FPGA)	384
习题	362	9.2 数字系统设计	386
第 8 章 数模与模数转换电路	365	9.2.1 设计工具的演变	386
内容提要	365	9.2.2 数字系统设计方法	387
概述	365	9.2.3 数字系统 EDA	388
8.1 D/A 转换器	366	9.2.4 基于 HDL 的现代数字 系统设计	389
8.1.1 D/A 转换器的基本 工作原理	366	9.2.5 ISP、ICR 编程和边界 扫描测试技术	390
8.1.2 D/A 转换器的转换精 度、速度和主要参数	369	9.2.6 数字系统设计的 重要法则	392
8.2 A/D 转换器	371	本章小结	392
8.2.1 A/D 转换的一般步骤 和取样定理	371	习题	393
8.2.2 取样-保持电路	373		
参考文献			395
附录一 《GB/T 4728.12—2008 电气简图用图形符号二进制逻辑元件》简介			397
附录二 基本逻辑元件图形符号对照表			399

第 1 章

逻辑代数 基础

✕ 内容提要

逻辑代数是按一定逻辑规律进行运算的代数,它是分析和设计数字电路的基本教学工具。本章主要讲解逻辑代数的基本概念、公式和定理,逻辑函数的公式化简法和图形化简法,逻辑函数的几种常用表示方法及其相互间的转换。在逻辑代数中变量的取值只有两种可能性,不是 **0** 就是 **1**,因而在概述中介绍了二进制数的表示方法和编码特点。

📺 概述

一、数字电路及其特点

在人类生存的自然环境中,存在着各种各样的信息,例如声音、温度、湿度、压力和流量等。这些信息可以通过相应的传感器(Sensor)转换为电信号,被输入到电子系统中进行处理与传输。在电子电路中,将电信号分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号的特点是信号幅度随时间连续变化,即在时间和数值上均具有连续性,如图 1.0.1(a)所示。处理模拟信号电子电路称为模拟电路。与模拟信号不同,数字信号在幅度和时间上都是离散的、突变的信号,通常采用的数字信号具有双值性,如图 1.0.1(b)所示,其低电平用 **0** 表示,高电平用 **1** 表示。数字电路就是用于传输和处理数字信号电子电路,它主要研究输出与输入信号之间的因果关系,一般称为逻辑关系。因此,数字电路又称为数字逻辑电路。

📺
视频:
难点解析 1-1
模拟信号与数字信号

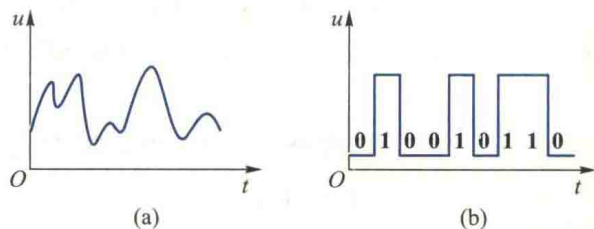


图 1.0.1 模拟信号和数字信号

(a) 模拟信号 (b) 数字信号

模拟信号和数字信号可以通过模/数转换电路(ADC, analog to digital converter)或数/模转换电路(DAC, digital to analog converter)进行转换。与模拟电路相比,数字电路主要有如下特点:

- (1) 电路结构简单,便于集成化。
- (2) 在数字电路中晶体管均工作在饱和区或截止区,工作在开关状态,因而数字电路的抗干扰能