



全国高职高专教育精品规划教材



数字电路基础

SHUZI DIANLU JICHU

主编 陈永庆



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

内 容 简 介

本书是面向高职高专院校电子信息、通信、计算机、电气工程与自动化等专业的需要而编写的专业基础课教材。全书共分10章, 主要内容包括逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、数字信号与模拟信号的转换、半导体存储器、可编程逻辑器件和综合实训。

本书内容简明扼要, 深入浅出, 便于自学, 既可作为高职高专院校和应用型本科院校电子类相关专业的教材, 也可作为从事电子技术的工程技术人员的参考书。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电路基础/陈永庆主编. — 北京: 北京交通大学出版社, 2010. 2

(全国高职高专教育精品规划教材)

ISBN 978 - 7 - 81123 - 984 - 3

I. ①数… II. ①陈… III. ①数字电路 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 220460 号

责任编辑: 张慧蓉

出版发行: 北京交通大学出版社

电话: 010 - 51686414

北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编: 100044

印刷者: 北京泽宇印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185 × 260 印张: 15.5 字数: 381 千字

版 次: 2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 81123 - 984 - 3/TN · 69

印 数: 1 ~ 3 000 册 定价: 27.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010 - 51686043, 51686008; 传真: 010 - 62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

全国高职高专教育精品 规划教材丛书编委会

主任：曹 殊

副主任：武汉生（西安翻译学院）

朱光东（天津冶金职业技术学院）

何建乐（绍兴越秀外国语学院）

文晓璋（绵阳职业技术学院）

梅松华（丽水职业技术学院）

王 立（内蒙古建筑职业技术学院）

文振华（湖南现代物流职业技术学院）

叶深南（肇庆科技职业技术学院）

陈锡畴（郑州旅游职业学院）

王志平（河南经贸职业学院）

张子泉（潍坊科技职业学院）

王法能（西安外事学院）

邱曙熙（厦门华天涉外职业技术学院）

逯 侃（步长集团陕西国际商贸学院）

委员：黄盛兰（石家庄职业技术学院）

张小菊（石家庄职业技术学院）

邢金龙（太原大学）

孟益民（湖南现代物流职业技术学院）

周务农（湖南现代物流职业技术学院）

周新焕（郑州旅游职业学院）

成光琳（河南经贸职业学院）

高庆新（河南经贸职业学院）

李玉香（天津冶金职业技术学院）

邵淑华（德州科技职业学院）

刘爱青（德州科技职业学院）

宋立远（广东轻工职业技术学院）

孙法义（潍坊科技职业学院）

颜 海（武汉生物工程学院）

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分，其根本任务是培养生产、建设、管理和服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的应用型专门人才，所培养的学生在掌握必要的基础理论和专业知识的基础上，应重点掌握从事本专业领域实际工作的基础知识和职业技能，因此与其对应的教材也必须有自己的体系和特点。

为了适应我国高职高专教育发展及其对教育改革和教材建设的需要，在教育部的指导下，我们在全国范围内组织并成立了“全国高职高专教育精品规划教材研究与编审委员会”（以下简称“教材研究与编审委员会”）。“教材研究与编审委员会”的成员所在单位皆为教学改革成效较大、办学实力强、办学特色鲜明的高等专科学校、成人高等学校、高等职业学校及高等院校主办的二级职业技术学院，其中一些学校是国家重点建设的示范性职业技术学院。

为了保证精品规划教材的出版质量，“教材研究与编审委员会”在全国范围内选聘“全国高职高专教育精品规划教材编审委员会”（以下简称“教材编审委员会”）成员和征集教材，并要求“教材编审委员会”成员和规划教材的编著者必须是从事高职高专教学第一线的优秀教师和专家。此外，“教材编审委员会”还组织各专业的专家、教授对所征集的教材进行评选，对所列选教材进行审定。

此次精品规划教材按照教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”而编写。此次规划教材按照突出应用性、针对性和实践性的原则编写，并重组系列课程教材结构，力求反映高职高专课程和教学内容体系改革方向；反映当前教学的新内容，突出基础理论知识的应用和实践技能的培养；在兼顾理论和实践内容的同时，避免“全”而“深”的面面俱到，基础理论以应用为目的，以必要、够用为尺度；尽量体现新知识和新方法，以利于学生综合素质的形成和科学思维方式与创新能力的培养。

此外，为了使规划教材更具广泛性、科学性、先进性和代表性，我们真心希望全国从事高职高专教育的院校能够积极参与到“教材研究与编审委员会”中来，推荐有特色、有创新的教材。同时，希望将教学实践的意见和建议及时反馈给我们，以便对出版的教材不断修订、完善，不断提高教材质量，完善教材体系，为社会奉献更多、更新的与高职高专教育配套的高质量教材。

此次所有精品规划教材由全国重点大学出版社——北京交通大学出版社出版。适合于各类高等专科学校、成人高等学校、高等职业学校及高等院校主办的二级技术学院使用。

全国高职高专教育精品规划教材研究与编审委员会
2010年1月

总 序

历史的年轮已经跨入了公元2010年，我国高等教育的规模已经是世界之最，2008年毛入学率达到23%，属于高等教育大众化教育阶段。根据教育部2006年第16号《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》等文件精神，高职高专院校要积极构建与生产劳动和社会实践相结合的学习模式，把工学结合作为高等职业教育人才培养模式改革的重要切入点，带动专业调整与建设，引导课程设置、教学内容和教学方法改革。由此，高职高专教学改革进入了一个崭新阶段。

新设高职类型的院校是一种新型的专科教育模式，高职高专院校培养的人才应当是应用型、操作型人才，是高级蓝领。新型的教育模式需要我们改变原有的教育模式和教育方法，改变没有相应的专用教材和相应的新型师资力量现状。

为了使高职院校的办学有特色，毕业生有专长，需要建立“以就业为导向”的新型人才培养模式。为了达到这样的目标，我们提出“以就业为导向，要从教材差异化开始”的改革思路，打破高职高专院校使用教材的统一性，根据各高职高专院校专业和生源的差异性，因材施教。从高职高专教学最基本的基础课程，到各个专业的专业课程，着重编写出实用、适用高职高专不同类型人才培养的教材，同时根据院校所在地经济条件的不同和学生兴趣的差异，编写出形式活泼、授课方式灵活、满足社会需求的教材。

培养的差异性高等教育进入大众化教育阶段的客观规律，也是高等教育发展与社会发展相适应的必然结果。只有使在校学生接受差异性的教育，才能充分调动学生浓厚的学习兴趣，才能保证不同层次的学生掌握不同的技能专长，避免毕业生被用人单位打上“批量产品”的标签。只有高等学校的培养有差异性，其毕业生才能有特色，才会在就业市场具有竞争力，从而使高职高专的就业率大幅度提高。

北京交通大学出版社出版的这套高职高专教材，是在教育部“十一五规划教材”所倡导的“创新独特”四字方针下产生的。教材本身融入了很多较新的理念，出现了一批独具匠心的教材，其中，扬州环境资源职业技术学院的李德才教授所编写的《分层数学》，教材立意新颖，独具一格，提出以生源的质量决定教授数学课程的层次和级别。还有无锡南洋职业技术学院的杨鑫教授编写的一套《经营学概论》系列教材，将管理学、经济学等不同学科知识融为一体，具有很强的实用性。

此套系列教材是由长期工作在第一线、具有丰富教学经验的老师编写的，具有很好的指导作用，达到了我们所提倡的“以就业为导向培养高职高专学生”和因材施教的目标要求。

教育部全国高等学校学生信息咨询与就业指导中心择业指导处处长
中国高等教育学会毕业生就业指导分会秘书长
曹 殊 研究员

前 言

本书结合数字电子技术以系统集成化、设计自动化、用户专业化和测试智能化的发展趋势，遵循高职教育以职业为基础，以能力为本位，以理论必需、够用为度的原则编写而成。

在内容上，全书共分10章。其中，第1章介绍了数字电路的基础知识，包括数制与编码、逻辑代数、逻辑函数的化简等，这是学习本门课程的基础知识。第2章引入了逻辑门电路，不仅讨论了基本逻辑门电路，而且更重要的是引出了如何用电路处理逻辑问题，这是学习本门课程非常重要的概念。第3，4，5章分别讨论了本门课的核心部分——组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路。在讨论这部分内容时，为了更适合高职教学特点，本书有意将实用集成器件部分单独列章介绍。第6章是脉冲电路，主要是以多谐振荡器、单稳态触发器、施密特触发器为主线讨论的。第7，8，9章的内容分别为数字信号与模拟信号的转换、半导体存储器、可编程逻辑器件，它们都是大规模集成电路，在介绍时更加注重实用性。第10章为综合实训，根据前面讨论的理论知识给出了综合的实训内容、要求及指导，使学生在掌握基础理论的同时，更加熟悉集成器件的特性及使用方法，进而培养和锻炼自己分析问题、解决问题的能力。

在结构上，本书各章均安排了4个部分，即基本知识点、基本内容、目标训练及习题。其中，基本知识点是学习本章时所需熟练掌握的基本内容。通过对基本知识点的理解，可以使学生在带着问题，有目标地学习本章内容。目标训练及习题则是对学生所学的内容在理论和实际上提出要求并加以训练。主要目的是配合理论学习，进行综合设计、使用方面的训练，再配合实验、课程设计及实习等教学环节，真正使学生熟练掌握本门课程的实际应用技能。

本书力争做到理论以能支撑实际应用为度，强化实用性，以器件及应用为主，较多地介绍具体集成电路芯片，包括逻辑符号、外引线排列图及功能表等，而对于集成电路内部的分析讨论则尽量少讲，主要突出在器件的使用上。

本书由渤海船舶职业学院陈永庆任主编，渤海船舶职业学院贺丽萍、辽宁铁道职业技术学院吴广荣任副主编。其中第3，4，5，6，8，9章由陈永庆编写，第1，2章由贺丽萍编写，第7，10章由吴广荣编写。全书的统稿工作由陈永庆完成。

尽管编者在本书的特色建设方面做出了许多努力，但由于高职教材建设还处于探索阶段，教材中不足之处在所难免，恳切希望各相关高职院校教师和学生在使用本教材的过程中给予关注，并及时反馈意见，以便修订时完善。

编 者

2010年1月

目 录

| | |
|--------------------------|------|
| 绪论 | (1) |
| 第1章 逻辑代数基础 | (3) |
| 1.1 概述 | (3) |
| 1.2 数制与码制 | (3) |
| 1.2.1 二进制 | (3) |
| 1.2.2 十六进制 | (4) |
| 1.2.3 不同进制间的转换 | (4) |
| 1.2.4 二进制码 | (6) |
| 1.3 逻辑代数 | (8) |
| 1.3.1 基本逻辑运算 | (8) |
| 1.3.2 复合逻辑运算 | (10) |
| 1.3.3 逻辑代数基本定律 | (11) |
| 1.3.4 逻辑代数基本规则 | (12) |
| 1.4 逻辑函数 | (13) |
| 1.4.1 逻辑函数及其表示方法 | (13) |
| 1.4.2 逻辑函数的代数变换与化简 | (14) |
| 1.4.3 卡诺图化简法 | (16) |
| 1.4.4 具有约束的逻辑函数的化简 | (20) |
| 本章小结 | (22) |
| 目标训练 | (23) |
| 习题 | (23) |
| 第2章 逻辑门电路 | (26) |
| 2.1 概述 | (26) |
| 2.2 基本逻辑门的功能及表示方法 | (26) |
| 2.2.1 二极管与门 | (26) |
| 2.2.2 二极管或门 | (27) |
| 2.2.3 三极管非门电路 | (28) |
| 2.3 复合逻辑门的功能及表示方法 | (29) |
| 2.3.1 与非门 | (29) |
| 2.3.2 或非门 | (29) |
| 2.3.3 与或非门 | (30) |
| 2.3.4 异或门 | (30) |
| 2.4 数字集成电路 | (31) |
| 2.4.1 TTL 集成逻辑门电路 | (31) |

| | | |
|--------------|--------------------|-------------|
| 2.4.2 | CMOS 集成逻辑门电路 | (34) |
| 2.5 | 数字集成电路的电路特性 | (37) |
| 2.5.1 | TTL 与非门的电压传输特性 | (37) |
| 2.5.2 | TTL 与非门的输入特性 | (38) |
| 2.5.3 | TTL 与非门的输出特性 | (39) |
| 2.5.4 | TTL 与非门的传输延迟时间 | (40) |
| 2.6 | 数字集成电路的使用 | (40) |
| 2.6.1 | TTL 数字集成电路 | (40) |
| 2.6.2 | CMOS 数字集成电路 | (41) |
| 2.6.3 | TTL 电路与 CMOS 电路的接口 | (42) |
| | 本章小结 | (44) |
| | 目标训练 | (44) |
| | 习题 | (45) |
| 第 3 章 | 组合逻辑电路 | (48) |
| 3.1 | 概述 | (48) |
| 3.2 | 逻辑功能各种表示方法的特点及相互转换 | (48) |
| 3.2.1 | 逻辑功能各种表示方法的特点 | (48) |
| 3.2.2 | 各种表示方法的相互转换 | (49) |
| 3.3 | 组合逻辑电路的分析方法和设计方法 | (51) |
| 3.3.1 | 组合逻辑电路的分析方法 | (51) |
| 3.3.2 | 组合逻辑电路的设计 | (52) |
| 3.4 | 集成组合逻辑电路 | (53) |
| 3.4.1 | 编码器 | (54) |
| 3.4.2 | 译码器 | (58) |
| 3.4.3 | 数据选择器和数据分配器 | (65) |
| 3.4.4 | 加法器 | (70) |
| 3.4.5 | 数值比较器 | (74) |
| 3.5 | 组合逻辑电路中的竞争 - 冒险现象 | (76) |
| 3.5.1 | 竞争 - 冒险现象及产生的原因 | (76) |
| 3.5.2 | 判别冒险现象的方法 | (77) |
| 3.5.3 | 消除冒险现象的方法 | (78) |
| | 本章小结 | (78) |
| | 目标训练 | (79) |
| | 习题 | (80) |
| 第 4 章 | 触发器 | (84) |
| 4.1 | 概述 | (84) |
| 4.2 | 基本 RS 触发器 | (85) |
| 4.2.1 | 电路组成 | (85) |
| 4.2.2 | 逻辑功能 | (85) |

| | | |
|--------------|-------------------|--------------|
| 4.3 | 同步触发器 | (86) |
| 4.3.1 | 同步 RS 触发器 | (86) |
| 4.3.2 | D 触发器 | (88) |
| 4.3.3 | JK 触发器 | (88) |
| 4.4 | 时钟触发方式 | (89) |
| 4.4.1 | 上升沿触发 | (90) |
| 4.4.2 | 下降沿触发 | (90) |
| 4.5 | 集成触发器举例 | (90) |
| 4.5.1 | 集成触发器使用的特殊问题 | (91) |
| 4.5.2 | 集成 D 触发器 | (91) |
| 4.5.3 | 集成 JK 触发器 | (93) |
| | 本章小结 | (95) |
| | 目标训练 | (96) |
| | 习题 | (96) |
| 第 5 章 | 时序逻辑电路 | (99) |
| 5.1 | 概述 | (99) |
| 5.2 | 时序逻辑电路的分析 | (100) |
| 5.3 | 计数器 | (103) |
| 5.3.1 | 计数器的分类 | (103) |
| 5.3.2 | 二进制计数器 | (103) |
| 5.3.3 | N 进制计数器 | (107) |
| 5.3.4 | 集成计数器 | (109) |
| 5.4 | 寄存器 | (119) |
| 5.4.1 | 数码寄存器 | (120) |
| 5.4.2 | 移位寄存器 | (121) |
| 5.4.3 | 集成寄存器 | (122) |
| 5.5 | 同步时序逻辑电路的设计 | (128) |
| 5.5.1 | 同步时序电路的设计步骤 | (128) |
| 5.5.2 | 设计举例 | (129) |
| | 本章小结 | (130) |
| | 目标训练 | (131) |
| | 习题 | (133) |
| 第 6 章 | 脉冲波形的产生与变换 | (139) |
| 6.1 | 概述 | (139) |
| 6.2 | 多谐振荡器 | (140) |
| 6.2.1 | 由门电路组成的多谐振荡器 | (140) |
| 6.2.2 | 石英晶体多谐振荡器 | (141) |
| 6.3 | 单稳态触发器 | (142) |
| 6.3.1 | 由门电路组成的微分型单稳态触发器 | (142) |

| | | |
|--------------|----------------------------------|-------|
| 6.3.2 | 集成单稳态触发器 | (143) |
| 6.3.3 | 单稳态触发器的应用 | (145) |
| 6.4 | 施密特触发器 | (147) |
| 6.4.1 | 由门电路组成的施密特触发器 | (147) |
| 6.4.2 | 集成施密特触发器 | (148) |
| 6.4.3 | 施密特触发器的应用 | (150) |
| 6.5 | 555 定时器及应用 | (152) |
| 6.5.1 | 555 定时器的电路结构及功能 | (152) |
| 6.5.2 | 定时器应用举例 | (154) |
| 6.6 | 综合设计——震动报警器 | (156) |
| 6.6.1 | 设计内容与要求 | (157) |
| 6.6.2 | 震动报警器电路组成及工作原理 | (157) |
| 6.6.3 | 主要元器件选择 | (157) |
| 6.6.4 | 应用 Multisim 对震动报警器电路进行仿真实验 | (158) |
| 6.6.5 | 震动报警器电路组装调试 | (160) |
| 本章小结 | ..... | (161) |
| 目标训练 | ..... | (162) |
| 习题 | ..... | (162) |
| 第 7 章 | 数字信号与模拟信号的转换 | (165) |
| 7.1 | 概述 | (165) |
| 7.2 | 数模转换器 | (166) |
| 7.2.1 | D/A 转换的基本原理及分类 | (166) |
| 7.2.2 | 权电阻网络 D/A 转换器 | (166) |
| 7.2.3 | 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器 | (168) |
| 7.2.4 | D/A 转换器的主要技术参数 | (169) |
| 7.2.5 | 集成 D/A 转换器 | (170) |
| 7.3 | 模数转换器 | (171) |
| 7.3.1 | A/D 转换的基本原理及分类 | (171) |
| 7.3.2 | 并联比较型 A/D 转换器 | (173) |
| 7.3.3 | 逐次渐近型 A/D 转换器 | (176) |
| 7.3.4 | 双积分型 A/D 转换器 | (177) |
| 7.3.5 | A/D 转换器的主要技术参数 | (180) |
| 7.3.6 | 集成 A/D 转换器 | (180) |
| 本章小结 | ..... | (181) |
| 目标训练 | ..... | (182) |
| 习题 | ..... | (182) |
| 第 8 章 | 半导体存储器 | (184) |
| 8.1 | 概述 | (184) |
| 8.2 | 随机存储器 (RAM) | (185) |

| | | |
|-------------|--------------------------|--------------|
| 8.2.1 | 静态随机存储器 (SRAM) | (185) |
| 8.2.2 | 动态随机存储器 (DRAM) | (187) |
| 8.3 | 只读存储器 (ROM) | (189) |
| 8.3.1 | 掩模只读存储器 | (189) |
| 8.3.2 | 可编程只读存储器 (PROM) | (190) |
| 8.4 | 可擦写只读存储器 (EPROM) | (191) |
| 8.4.1 | EPROM | (191) |
| 8.4.2 | E ² PROM | (192) |
| 8.4.3 | 快闪存储器 (Flash Memory) | (194) |
| 8.5 | 用存储器实现组合逻辑函数 | (195) |
| 8.6 | RAM 的扩展 | (197) |
| 8.6.1 | RAM 的位扩展 | (197) |
| 8.6.2 | RAM 的字扩展 | (197) |
| 8.6.3 | RAM 的位、字同时扩展 | (198) |
| | 本章小结 | (199) |
| | 目标训练 | (199) |
| | 习题 | (200) |
| 第9章 | 可编程逻辑器件 | (201) |
| 9.1 | 概述 | (201) |
| 9.2 | 可编程逻辑器件的分类 | (202) |
| 9.3 | 可编程逻辑器件的基本结构 | (204) |
| 9.3.1 | 现场可编程逻辑阵列 (FPLA) 的基本结构 | (204) |
| 9.3.2 | 可编程阵列逻辑 (PAL) | (206) |
| 9.3.3 | 通用阵列逻辑 (GAL) | (213) |
| 9.3.4 | 可擦除的可编程逻辑器件 (EPLD) 的基本结构 | (216) |
| 9.3.5 | 现场可编程门阵列 (FPGA) 的基本结构 | (218) |
| 9.4 | 可编程逻辑器件编程 | (219) |
| | 本章小结 | (220) |
| | 目标训练 | (221) |
| | 习题 | (221) |
| 第10章 | 综合实训 | (222) |
| 10.1 | 概述 | (222) |
| 10.2 | 智力竞赛抢答器 | (222) |
| 10.2.1 | 实训内容与要求 | (222) |
| 10.2.2 | 智力竞赛抢答器的电路组成及工作原理 | (222) |
| 10.2.3 | 主要元器件选择 | (224) |
| 10.2.4 | 组装调试 | (224) |
| 10.3 | 数字电压表 | (224) |
| 10.3.1 | 实训内容与要求 | (224) |

| | | |
|--------|-------------------------|-------|
| 10.3.2 | 数字电压表的电路组成及工作原理 | (224) |
| 10.3.3 | 主要元器件选择 | (226) |
| 10.3.4 | 组装调试 | (228) |
| 10.4 | 数字电子钟 | (228) |
| 10.4.1 | 实训内容与要求 | (228) |
| 10.4.2 | 数字电子钟的电路组成及工作原理 | (228) |
| 10.4.3 | 主要元器件选择 | (230) |
| 10.4.4 | 组装调试 | (230) |
| 10.5 | 简易逻辑分析仪 | (231) |
| 10.5.1 | 实训内容与要求 | (231) |
| 10.5.2 | 简易逻辑分析仪的电路组成及工作原理 | (231) |
| 10.5.3 | 主要元器件选择 | (232) |
| 10.5.4 | 组装调试 | (233) |
| 目标训练 | ..... | (233) |
| 习题 | ..... | (234) |
| 参考文献 | ..... | (236) |

绪 论

1. 数字信号和数字电路

自然界中有许多物理量，尽管各不相同，但就其变化规律的特点来看，可分为两大类：一类是在时间上和数值上是连续变化的，这类物理量称为模拟量。把表示模拟量的信号称为模拟信号，并把工作在模拟信号下的电子电路称为模拟电路。例如语音信号，无论在时间上还是数值上都是连续变化的。另一类是在时间上和数值上都是断续变化的，这一类物理量称为数字量。把表示数字量的信号称为数字信号，并把工作在数字信号下的电子电路称为数字电路。例如，用电子电路记录从自动生产线上输出的零件数目时，每送出一个零件便给电子电路一个信号，使之记为1，而平时没有零件送出时加给电子电路的信号是0，所以不记数。可见，零件数目这个信号无论在时间上还是数量上都是不连续的，因此它是一个数字信号。数字电路主要是研究输入与输出信号之间对应的逻辑关系，其分析的主要工具是逻辑代数，因此数字电路又称为逻辑电路。

2. 数字电路的分类

根据电路结构的不同，数字电路可分为分立元件电路和集成电路两大类。分立元件是由晶体管、电阻、电容等元器件用导线在线路板上连接起来的电路；而集成电路则是将上述元器件和导线通过半导体制造工艺做在一块硅片上而成为一个不可分割的整体电路。

根据集成密度不同，数字电路的分类见下表。

| 集成电路的分类 | 集成度 | 电路规模与范围 |
|------------------|---------------------------------------|--|
| 小规模集成电路 SSI | 1~10 门/片，或 10~100 个元件/片 | 逻辑单元电路 包括：逻辑门电路、集成触发器 |
| 中规模集成电路 MSI | 10~100 门/片，或 100~1 000 个元件/片 | 逻辑部件 包括：计数器、译码器、编码器、数据选择器、寄存器、算术运算器、比较器、转换电路等 |
| 大规模集成电路 LSI | 100~1 000 门/片，或 1 000~10 000 个元件/片 | 数字逻辑系统 包括：中央控制器、存储器、各种接口电路等 |
| 超大规模集成电路 VLSI | 大于1 000 门/片，或 大于10 万个元件/片 | 高集成度的数字逻辑系统 包括：各种型号的单片机和控制器 |

在集成电路中，根据半导体的导电类型不同，又可分为双极型电路和单极型电路。以双极型晶体管作为基本器件的数字集成电路称为双极型数字集成电路，如 TTL，ECL 集成电路

等；以单极型 MOS 管作为基本器件的数字集成电路称为单极型数字集成电路，如 NMOS，PMOS，CMOS 集成电路等。

3. 数字电路的应用

数字电路是近代电子技术的一个重要组成部分。它包含的内容十分广泛，主要有各种基本逻辑门、编码器、译码器、显示器、算术运算器、数据选择器、数据比较器及各种触发器、计数器、存储器、数模和模数转换器、可编程逻辑器件等典型的数字单元电路。因此，数字电子技术在数字通信、自动控制、数字电子计算机、数字测量仪表及家用电器等各个技术领域中的应用日益广泛。

4. 数字电路的优点

与模拟电路相比，数字电路主要有如下优点。

① 便于高度集成化。由于数字电路采用二进制，凡具有两个状态的电路都可以用二进制数码 0 和 1 表示，因此基本单元电路的结构简单，允许电路参数有较大的离散性，有利于将众多的基本单元电路集成在同一块硅片上进行批量生产。

② 工作可靠性高、抗干扰能力强。数字信号是用 1 和 0 表示信号的有和无，数字电路辨别信号的有和无是很容易做到的，从而大大提高了电路的工作可靠性。同时，数字信号不易受到噪声干扰，因此它的抗干扰能力很强。

③ 数字信息便于长期保存。借助某种媒体如磁盘、光盘等，可将数字信息长期保存下来。

④ 数字集成电路的产品系列多、通用性强、成本低。

⑤ 保密性好，数字信息容易进行加密处理，不易被窃取。

“数字电路基础”是一门实践性较强的课程，读者要在理论学习的基础上多参加实践，通过实验和实训加深对理论知识的理解，更好地掌握数字电路基础的基本技能，达到学会查阅集成器件手册，能根据手册提供的外引线排列、逻辑符号、功能表正确地使用集成器件；能够分析一些常用的基本数字电路，设计一些简单的实际逻辑问题，使所学的知识能应用到今后的实际生产和生活中去。

第 1 章

逻辑代数基础

基本知识点

- 数制与码制；
- 基本逻辑关系与逻辑运算；
- 逻辑代数基本定律与基本规则；
- 逻辑函数及表示方法；
- 逻辑函数的变换与化简。

1.1 概 述

本章主要从以下 3 个方面分析数字电路逻辑功能的数学方法：① 数制与码制，介绍数字电路中经常使用的计数进制及相互之间的转换，数字电路中常用的编码体制；② 逻辑代数的基本逻辑运算关系、基本公式、常用公式、重要定理、定律和基本规则；③ 逻辑函数及其表示方法、相互转换方法，学习如何应用这些公式和定理对逻辑函数进行代数化简，最后学习逻辑函数最重要的化简方法——卡诺图化简法。

1.2 数制与码制

用数码表示数量的多少称为计数，而用何种方法来计数则是计数体制问题。我们在日常生活及生产中广泛使用的计数体制是十进制。而在数字系统中讨论的是用电路实现逻辑关系的问题，采用的是二进制计数体制。二进制数太长时会使得记录起来不方便，故经常采用十六进制进行辅助计数。

本节重点讨论二进制计数体制及其与其他进制间的相互转换，最后介绍二进制编码。

1.2.1 二进制

我们都知道，一个数的大小要由两个因素决定：一个是这个数位数的多少，另一个是每位数数值的大小。我们熟悉的十进制数每位的数值是 0 ~ 9，每位的基数为 10（“逢十进一”，相邻两位数值相差十倍基数）。

二进制数只有两个数字符号 0 和 1，每位的基数为 2，即相邻两位数值相差 2 倍基数，计数规律是“逢二进一”。如一个二进制数 101101 可表示为

$$\begin{aligned}(101101)_2 &= 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &= 32 + 8 + 4 + 1 = (45)_{10}\end{aligned}$$

任意二进制数可表示为

$$(N)_2 = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} K_i 2^i$$

其中， i 为 $-\infty$ 到 $+\infty$ 之间的任意整数， K_i 为第 i 位的数值，可以是 0 或 1， 2^i 则为第 i 位的“权”。如一个带小数的二进制数 101.101 可表示为

$$\begin{aligned}(101.101)_2 &= 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 4 + 1 + 0.5 + 0.125 = (5.625)_{10}\end{aligned}$$

此表达式也称为按权展开式。

1.2.2 十六进制

十六进制数使用 16 个数字符号 (0 ~ 9, A, B, C, D, E, F)，其中 A 代表 10，B 代表 11，C 代表 12，D 代表 13，E 代表 14，F 代表 15，每位的基数为 16。其表达式为

$$(N)_{16} = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} K_i 16^i$$

其中， i 为 $-\infty$ 到 $+\infty$ 之间的任意整数， K_i 为第 i 位的数值，可以是 0 到 F 中 16 个数中的任意一个数， 16^i 则为第 i 位的“权”。如

$$(A3F.C)_{16} = A \times 16^2 + 3 \times 16^1 + F \times 16^0 + C \times 16^{-1} = 2\,560 + 48 + 15 + 0.75 = (2\,623.75)_{10}$$

1.2.3 不同进制间的转换

1. 二进制数转换成十进制数

将二进制数转换成十进制数的方法为按权展开相加，二进制数的权为 2^i ，为便于熟练转换，表 1-1 给出了 9 位二进制数的权值。

表 1-1 9 位二进制数的权值

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 的加权 | 2^8 | 2^7 | 2^6 | 2^5 | 2^4 | 2^3 | 2^2 | 2^1 | 2^0 |
| 权值 | 256 | 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 |

$$\begin{aligned}\text{例 1.1 } (101101011)_2 &= 1 \times 2^8 + 0 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &= 256 + 64 + 32 + 8 + 2 + 1 \\ &= (363)_{10}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{例 1.2 } (1110.011)_2 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 8 + 4 + 2 + 0.25 + 0.125 \\ &= (14.375)_{10}\end{aligned}$$

2. 十进制数转换成二进制数

十进制数转换成二进制数可将整数部分和小数部分分开进行。

十进制数的整数部分可用“除2取余”法转换成相应的二进制数，即将这个十进制数连续除2，直至商为0，每次除2所得余数的组合便是所求的二进制数。注意，最先得出的余数对应二进制数的最低位。

例 1.3 将十进制数 $(47)_{10}$ 转换成二进制数。

解 用除2取余法的过程如下：

| | | | | | |
|---|----|-------|---|---|----|
| 2 | 47 | ..... | 1 | ↑ | 低位 |
| 2 | 23 | ..... | 1 | | |
| 2 | 11 | ..... | 1 | | |
| 2 | 5 | ..... | 1 | | |
| 2 | 2 | ..... | 0 | | |
| 2 | 1 | ..... | 1 | | |
| | 0 | | | ↓ | 高位 |

得 $(47)_{10} = (101111)_2$ 。

十进制数的小数部分可用“乘2取整”法转换成相应的二进制数，即将这个十进制数小数部分连续乘2，直至为0或满足所要求的误差为止。每次乘2所得整数的组合便是所求的二进制数。注意，最先得出的整数对应二进制数的最高位。

例 1.4 将十进制数 $(0.3125)_{10}$ 转换成二进制数。

解 用乘2取整法的过程如下：

| | | | | | |
|---|--------|-------|---|---|----|
| | 0.3125 | | | | |
| × | 2 | | | | |
| | 0.6250 | ..... | 0 | ↑ | 高位 |
| | 0.6250 | | | | |
| × | 2 | | | | |
| | 1.2500 | ..... | 1 | | |
| | 0.2500 | | | | |
| × | 2 | | | | |
| | 1.5000 | ..... | 0 | | |
| | 0.5000 | | | | |
| × | 2 | | | | |
| | 1.0000 | ..... | 1 | ↓ | 低位 |

得 $(0.3125)_{10} = (0.0101)_2$ 。

对于同时具有整数和小数部分的，可将其分解为整数部分和小数部分再分别转换。

例 1.5 将十进制数 $(23.3125)_{10}$ 转换成二进制数。

$$(23.3125)_{10} = (10111.0101)_2$$

3. 二进制数与十六进制数的转换

由于十六进制的基数为16，而 $16 = 2^4$ ，因此，一位十六进制数刚好转换成4位二进制数。

二进制数转换成十六进制数，可将二进制数以小数点为基点，分别向左和向右“每4位为一组，不够添0”，直接将二进制数转换成十六进制数。

例 1.6 将二进制数 $(1011010101.01)_2$ 转换成十六进制数。