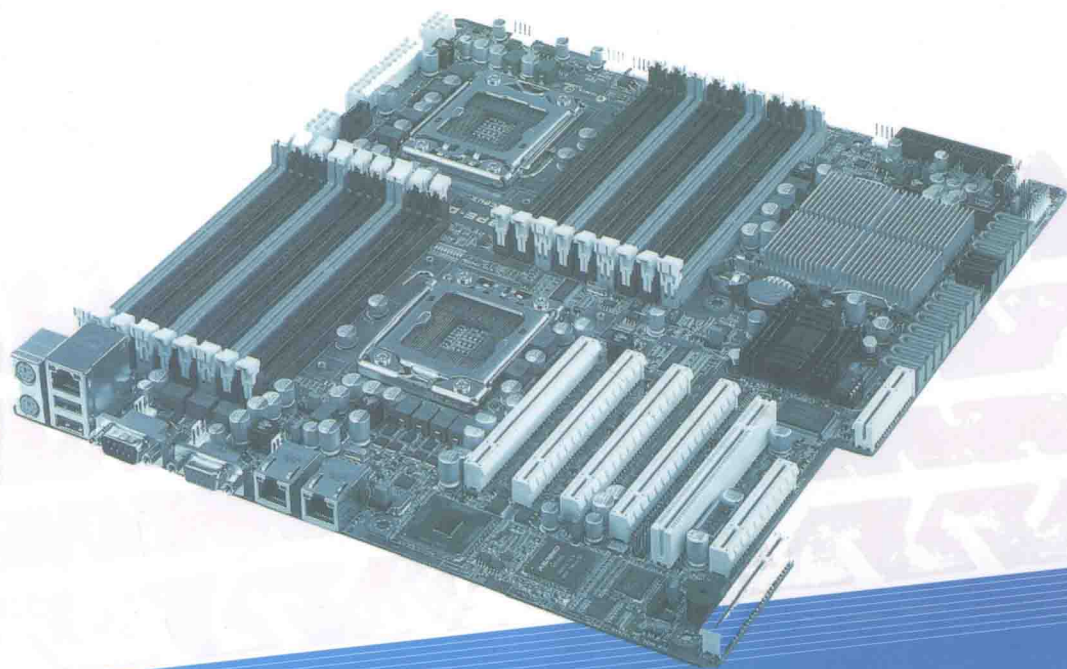


21世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材



数字电子技术与应用

宋雪臣 单振清 主 编

- 理论与实践紧密结合，通俗易懂
- 8大课题培养学生分析和调试数字电路能力



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材

数字电子技术与应用

主 编	宋雪臣	单振清	
副主编	侯秀丽	鲁冠华	
参 编	郭 娜	赵思成	曹 立
主 审	杜晓通		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

为了更好地适应 21 世纪创新型人才的培养需求,本书在内容上进行了精心的选择和编排,进一步减少了小规模数字集成电路的内容,突出了中大规模数字集成电路的特性和应用,在重点介绍数字电路的基本理论和经典内容的基础上,加强了对数字电路实际应用的介绍,能够运用所学知识,灵活地解决数字电路的一些实际问题。

本书共分 8 个课题,分别是:逻辑代数基础;集成逻辑门电路及其应用;组合逻辑电路分析、设计及其应用;集成触发器及其应用;时序逻辑电路分析、设计及其应用;脉冲波形发生器及其应用;数/模、模/数转换及其应用;半导体存储器、可编程逻辑器件及其应用。课题配有大量应用例题和思考与练习题,以便读者复习巩固。

本书在结构上以课题的形式为主线逐步展开介绍。在每个课题之前都提出了明确的知识目标和技能目标,明确了每个课题的理论知识与实践技能,使每个课题具有一定的独立性、实用性,又有前后课题内容的逻辑连续性。

本书选材新颖,时代感强,逻辑性好,适应面广,可作为电子工程、通信工程、信息工程、雷达工程、计算机科学与技术、电力系统及自动化等电类专业和机电一体化等非电类的专业基础课教材,也可作为相关专业工程技术人员的学习与参考用书

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术与应用/宋雪臣,单振清主编. —北京:北京大学出版社,2011.9

(21 世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-19153-8

I. ①数… II. ①宋…②单… III. ①数字电路—电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 122071 号

书 名: 数字电子技术与应用

著作责任者: 宋雪臣 单振清 主编

策 划 编 辑: 赖 青 张永见

责 任 编 辑: 李娉婷

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-19153-8/TN · 0071

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.5 印张 405 千字

2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 33.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

北京大学出版社高职高专机电系列规划教材

序号	书号	书名	编著者	定价	出版日期
1	978-7-301-10371-9	液压传动与气动技术	曹建东	28.00	2006.1
2	978-7-5038-4868-1	AutoCAD 机械绘图基础教程与实训	欧阳全会	28.00	2007.8
3	978-7-5038-4866-7	数控技术应用基础	宋建武	22.00	2007.8
4	978-7-5038-4937-4	数控机床	黄应勇	26.00	2007.8
5	978-7-301-13258-6	塑模设计与制造	晏志华	38.00	2007.8
6	978-7-301-12181-8	自动控制原理与应用	梁南丁	23.00	2007.8
7	978-7-5038-4861-2	公差配合与测量技术	南秀蓉	23.00	2007.9
8	978-7-5038-4865-0	CAD/CAM 数控编程与实训(CAXA 版)	刘玉春	27.00	2007.9
9	978-7-5038-4869-8	设备状态监测与故障诊断技术	林英志	22.00	2007.9
10	978-7-301-13260-9	机械制图	徐 萍	32.00	2008.1
11	978-7-301-13263-0	机械制图习题集	吴景淑	40.00	2008.1
12	978-7-301-13264-7	工程材料与成型工艺	杨红玉	35.00	2008.1
13	978-7-301-13262-3	实用数控编程与操作	钱东东	32.00	2008.1
14	978-7-301-13261-6	微机原理及接口技术(数控专业)	程 艳	32.00	2008.1
15	978-7-301-13383-5	机械专业英语图解教程	朱派龙	22.00	2008.3
16	978-7-301-13574-7	机械制造基础	徐从清	32.00	2008.7
17	978-7-301-13573-0	机械设计基础	朱凤芹	32.00	2008.8
18	978-7-301-13582-2	液压与气压传动技术	袁 广	24.00	2008.8
19	978-7-301-13662-1	机械制造技术	宁广庆	42.00	2008.8
20	978-7-301-13653-9	工程力学	武昭晖	25.00	2008.8
21	978-7-301-13652-2	金工实训	柴增田	22.00	2009.1
22	978-7-301-14470-1	数控编程与操作	刘瑞己	29.00	2009.3
23	978-7-301-13651-5	金属工艺学	柴增田	27.00	2009.6
24	978-7-301-12389-8	电机与拖动	梁南丁	32.00	2009.7
25	978-7-301-13659-1	CAD/CAM 实体造型教程与实训 (Pro/ENGINEER 版)	诸小丽	38.00	2009.7
26	978-7-301-13656-0	机械设计基础	时忠明	25.00	2009.8
27	978-7-301-15692-6	机械制图	吴百中	26.00	2009.9
28	978-7-301-15676-6	机械制图习题集	吴百中	26.00	2009.9
29	978-7-301-17122-6	AutoCAD 机械绘图项目教程	张海鹏	36.00	2010.5
30	978-7-301-17148-6	普通机床零件加工	杨雪青	26.00	2010.6
31	978-7-301-17398-5	数控加工技术项目教程	李东君	48.00	2010.8
32	978-7-301-17573-6	AutoCAD 机械绘图基础教程	王长忠	32.00	2010.8
33	978-7-301-17557-6	CAD/CAM 数控编程项目教程(UG 版)	慕 灿	45.00	2010.8
34	978-7-301-17609-2	液压传动	龚肖新	22.00	2010.8
35	978-7-301-17679-5	机械零件数控加工	李 文	38.00	2010.8
36	978-7-301-17608-5	机械加工工艺编制	于爱武	45.00	2010.8
37	978-7-301-17707-5	零件加工信息分析	谢 蕾	46.00	2010.8
38	978-7-301-18357-1	机械制图	徐连孝	27.00	2011.1
39	978-7-301-18143-0	机械制图习题集	徐连孝	20.00	2011.1
40	978-7-301-18470-7	传感器检测技术及应用	王晓敏	35.00	2011.1
41	978-7-301-18471-4	冲压工艺与模具设计	张 芳	39.00	2011.3
42	978-7-301-18630-5	电机与电力拖动	孙英伟	33.00	2011.3
43	978-7-301-18852-1	机电专业英语	戴正阳	28.00	2011.5
44	978-7-301-19272-6	电气控制与 PLC 程序设计(松下系列)	姜秀玲	36.00	2011.8
45	978-7-301-19297-9	机械制造工艺及夹具设计	徐 勇	28.00	2011.8
46	978-7-301-19319-8	电力系统自动装置	王 伟	24.00	2011.8
47	978-7-301-19374-7	公差配合与技术测量	庄佃霞	26.00	2011.8
48	978-7-301-19436-2	公差与测量技术	余 键	25.00	2011.9

北京大学出版社高职高专电子信息系列规划教材

序号	书号	书名	编著者	定价	出版日期
1	978-7-301-11566-4	电路分析与仿真教程与实训	刘辉珞	20.00	2007.2
2	978-7-301-12182-5	电工电子技术	李艳新	29.00	2007.8
3	978-7-301-12181-8	自动控制原理与应用	梁南丁	23.00	2007.8
4	978-7-301-12180-1	单片机开发应用技术	李国兴	21.00	2007.8
5	978-7-301-09529-5	电路电工基础与实训	李春彪	31.00	2007.8
6	978-7-301-12392-8	电工与电子技术基础	卢菊洪	28.00	2007.9
7	978-7-301-12386-7	高频电子线路	李福勤	20.00	2008.1
8	978-7-301-12384-3	电路分析基础	徐 锋	22.00	2008.5
9	978-7-301-13572-3	模拟电子技术及应用	刁修睦	28.00	2008.6
10	978-7-301-13575-4	数字电子技术及应用	何首贤	28.00	2008.6
11	978-7-301-14453-4	EDA 技术与 VHDL	宋振辉	28.00	2009.2
12	978-7-301-14469-5	可编程控制器原理及应用(三菱机型)	张玉华	24.00	2009.3
13	978-7-301-12385-0	微机原理及接口技术	王用伦	29.00	2009.4
14	978-7-301-12390-4	电力电子技术	梁南丁	29.00	2009.4
15	978-7-301-12383-6	电气控制与 PLC(西门子系列)	李 伟	26.00	2009.6
16	978-7-301-12391-1	数字电子技术	房永刚	24.00	2009.7
17	978-7-301-12387-4	电子线路 CAD	殷庆纵	28.00	2009.8
18	978-7-301-12382-9	电气控制及 PLC 应用(三菱系列)	华满香	24.00	2009.9
19	978-7-301-16898-1	单片机设计应用与仿真	陆旭明	26.00	2010.2
20	978-7-301-16830-1	维修电工技能与实训	陈学平	37.00	2010.7
21	978-7-301-17324-4	电机控制与应用	魏润仙	34.00	2010.8
22	978-7-301-17569-9	电工电子技术项目教程	杨德明	32.00	2010.8
23	978-7-301-17696-2	模拟电子技术	蒋 然	35.00	2010.8
24	978-7-301-17712-9	电子技术应用项目式教程	王志伟	32.00	2010.8
25	978-7-301-17730-3	电力电子技术	崔 红	23.00	2010.9
26	978-7-301-17877-5	电子信息专业英语	高金玉	26.00	2010.10
27	978-7-301-17958-1	单片机开发入门及应用实例	熊华波	30.00	2011.1
28	978-7-301-18188-1	可编程控制器应用技术项目教程(西门子)	崔维群	38.00	2011.1
29	978-7-301-18322-9	电子 EDA 技术(Multisim)	刘训非	30.00	2011.1
30	978-7-301-18144-7	数字电子技术项目教程	冯泽虎	28.00	2011.1
31	978-7-301-18470-7	传感器检测技术及应用	王晓敏	35.00	2011.1
32	978-7-301-18630-5	电机与电力拖动	孙英伟	33.00	2011.3
33	978-7-301-18519-3	电工技术应用	孙建领	26.00	2011.3
34	978-7-301-18770-8	电机应用技术	郭宝宁	33.00	2011.5
35	978-7-301-18520-9	电子线路分析与应用	梁玉国	34.00	2011.7
36	978-7-301-18622-0	PLC 与变频器控制系统设计与调试	姜永华	34.00	2011.6
37	978-7-301-19310-5	PCB 板的设计与制作	夏淑丽	33.00	2011.8
38	978-7-301-19326-6	综合电子设计与实践	钱卫钧	25.00	2011.8
39	978-7-301-19302-0	基于汇编语言的单片机仿真教程与实训	张秀国	32.00	2011.8
40	978-7-301-19153-8	数字电子技术与应用	宋雪臣	33.00	2011.9

请登录 www.pup6.cn 免费下载本系列教材的电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源。

欢迎免费索取样书, 并欢迎到北京大学出版社来出版您的大作, 可在 www.pup6.cn 在线申请样书和进行选题登记, 也可下载相关表格填写后发到我们的邮箱, 我们将及时与您取得联系并做好全方位的服务。

联系方式: 010-62750667, laqingbeida@126.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信。

前言

本书是根据教育部组织制定的“高职高专数字电子技术基础课程教学基本要求”，在“必需、够用”的原则下编写的。

本书以能力培养为主线，以应用为目的，突出思路与方法的阐述，力求使读者通过学习，获得从事电子技术相关工作的中高等专门人才必须具有的基本理论、基本知识、基本技能，并为学习有关后续课程打下一定基础。结合职业教育的特点，本书编写力求面向发展，更新教学观念和内容，在保证基本概念、基本原理和基本分析及设计方法的前提下，简化集成电路的结构和工作原理的讲述，减少小规模集成电路的内容，尽可能多地介绍新型中大规模集成电路及其应用。

本书的主要特点如下：

(1) 独立性和应用性。本书在结构上以课题的形式为主线，逐步展开介绍。注重每个课题内容的独立性和实用性，在每个课题之前都提出了明确的知识目标和技能目标，注重理论知识和实践技能的应用。简化分析和理论推导，注重较实用的工程分析和设计方法；对于各种数字集成电路，着重介绍其性能特点和实际应用电路。

(2) 实践性。增加实训环节，注重培养学生分析和调试数字电路的能力。

(3) 通读性。本书中大部分内容都是取自教学实践中的工作总结，指导性强、通俗易懂，便于读者阅读。

本书建议总课时 74 个学时，具体见下表。

序 号	课时内容	理论课时	实训课时
1	课题 1 逻辑代数基础	8	
2	课题 2 集成逻辑门电路及其应用	8	2
3	课题 3 组合逻辑电路分析、设计及其应用	8	6
4	课题 4 集成触发器及其应用	8	2
5	课题 5 时序逻辑电路分析、设计及其应用	8	4
6	课题 6 脉冲波形发生器及其应用	6	2
7	课题 7 数/模、模/数转换及其应用	6	2
8	课题 8 半导体存储器、可编程逻辑器件及其应用	4	
合 计		74	

本书由山东水利职业学院宋雪臣、单振清任主编，安徽商贸职业技术学院侯秀丽、山东水利职业学院鲁冠华任副主编。其中，鲁冠华编写课题 1，哈尔滨职业技术学院郭娜编写课题 2，单振清编写课题 3，宋雪臣、山东师范大学附属中学曹立共同编写课题 4，宋雪臣编写课题 5，侯秀丽编写课题 6、7，哈尔滨职业技术学院赵思成编写课题 8。山东大学控制学院杜晓通教授任主审，并提出宝贵意见。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

编 者
2011 年 6 月

目 录

课题1 逻辑代数基础	1	2.1.1 晶体二极管的开关特性 ...	33
1.1 数字信号与数字电路	2	2.1.2 二极管门电路	35
1.1.1 数字信号和模拟信号	2	2.2 TTL 逻辑门电路	37
1.1.2 数字电路的特点	2	2.2.1 晶体三极管开关特性及 三极管非门	37
1.1.3 数字电路的分类	3	2.2.2 TTL 集成逻辑门电路	42
1.2 常用的数制、编码及相互转换	3	2.3 CMOS 逻辑门电路	49
1.2.1 常用的数制	3	2.3.1 MOS 管的开关特性	50
1.2.2 不同进制间的转换	5	2.3.2 CMOS 集成逻辑门电路 ...	51
1.2.3 常用的编码	6	2.4 集成逻辑门电路的应用	55
1.3 逻辑代数基础	8	2.4.1 集成门电路的使用常识 ...	55
1.3.1 3 种基本逻辑关系	8	2.4.2 集成门电路应用举例	60
1.3.2 复合逻辑关系	10	技能实训 1 TTL 集成与非门参数 测试	61
1.3.3 逻辑代数基本公式	12	课题小结	65
1.3.4 逻辑代数基本规则	13	思考与练习	65
1.3.5 其他常用公式	13	课题3 组合逻辑电路分析、设计及其 应用	68
1.4 逻辑函数	14	3.1 组合逻辑电路的分析和设计 方法	69
1.4.1 逻辑函数及其表示方法 ...	14	3.1.1 组合逻辑电路的分析 步骤	69
1.4.2 几种表示方法的互相 转化	15	3.1.2 组合逻辑电路的设计 步骤	70
1.4.3 逻辑函数的代数变换与 化简	16	3.2 组合逻辑电路中的算术运算电路	72
1.5 逻辑函数的图形化简法	18	3.2.1 半加器电路	72
1.5.1 逻辑函数最小项表达式 ...	19	3.2.2 全加器电路	72
1.5.2 卡诺图	20	3.2.3 多位数加法器	74
1.6 具有约束的逻辑函数的化简	25	3.3 组合逻辑电路中的信号变换 电路	75
1.6.1 约束、约束项、约束 条件	25	3.3.1 编码器	75
1.6.2 具有约束的逻辑函数的 化简	26	3.3.2 译码器	79
课题小结	27	3.3.3 数据选择器	87
思考与练习	28	3.3.4 数据分配器	91
课题2 集成逻辑门电路及其应用	32	3.4 组合逻辑电路中的数值比较器	93
2.1 二极管基本门电路	33		

3.4.1 1 位数值比较器	93
3.4.2 集成数值比较器	93
3.5 组合逻辑电路中的竞争和冒险	95
3.5.1 产生竞争冒险的原因	95
3.5.2 冒险现象的识别	96
3.5.3 冒险现象的消除方法	97
3.6 组合逻辑电路综合应用	97
技能实训 2 组合逻辑电路的功能 分析	102
技能实训 3 数据选择器及其应用	103
技能实训 4 译码器及其应用	105
课题小结	107
思考与练习	108
课题4 集成触发器及其应用	114
4.1 基本 RS 触发器	115
4.1.1 基本 RS 触发器的结构 组成和工作原理	115
4.1.2 逻辑功能的表示方法	116
4.1.3 基本触发器的特点	118
4.2 同步触发器	118
4.2.1 同步 RS 触发器	118
4.2.2 同步 D 触发器	120
4.2.3 同步 JK 触发器	121
4.2.4 同步 T 触发器	122
4.2.5 同步触发器存在的问题 ——空翻	123
4.3 主从触发器	123
4.3.1 主从 RS 触发器	124
4.3.2 主从 JK 触发器	125
4.3.3 CMOS 主从 D 触发器	128
4.4 边沿触发器	129
4.4.1 维持阻塞 D 触发器	129
4.4.2 负边沿 JK 触发器	131
4.4.3 边沿 JK 触发器的特点	133
4.5 不同类型时钟触发器间的转换	133
4.6 集成触发器的应用	134
技能实训 5 集成触发器及其应用	136
课题小结	139

思考与练习	139
-------------	-----

课题5 时序逻辑电路分析、设计及其

应用

5.1 时序逻辑电路的一般分析方法	144
5.2 计数器	147
5.2.1 异步计数器	148
5.2.2 同步计数器	152
5.2.3 集成计数器的应用	158
5.3 寄存器和移位寄存器	163
5.3.1 基本寄存器(数码 寄存器)	163
5.3.2 移位寄存器	164
5.3.3 寄存器应用实例	167
技能实训 6 集成计数器及其应用	170
技能实训 7 移位寄存器及其应用	173
课题小结	175
思考与练习	176

课题6 脉冲波形发生器及其应用

6.1 脉冲信号波形及其参数	180
6.2 555 定时器的结构及基本功能	181
6.2.1 电路结构	181
6.2.2 基本功能	182
6.3 单稳态触发器	183
6.3.1 门电路构成的微分型 单稳态触发器	184
6.3.2 555 定时器构成的单稳态 触发器	184
6.3.3 集成单稳态触发器	185
6.3.4 应用举例	188
6.4 多谐振荡器	188
6.4.1 对称多谐振荡器	188
6.4.2 石英晶体振荡器	189
6.4.3 555 定时器构成的多谐 振荡器	190
6.4.4 应用举例	192
6.5 施密特触发器	193
6.5.1 用门电路组成的施密特 触发器	193



6.5.2 555 定时器构成的施密特 触发器	194	7.3.2 系统方框图	230
6.5.3 集成施密特触发器	195	7.3.3 电路设计	230
6.5.4 应用举例	196	技能实训 9 D/A、A/D 转换器	233
技能实训 8 555 定时器功能测试及 应用	198	课题小结	237
课题小结	201	思考与练习	238
思考与练习	202		
课题7 数/模、模/数转换及其应用 ...	204	课题8 半导体存储器、可编程逻辑器件 及其应用	240
7.1 D/A 转换器	205	8.1 随机存取存储器 RAM	241
7.1.1 D/A 转换原理	205	8.1.1 RAM 的基本结构及工作 原理	242
7.1.2 权电阻网络 DAC	206	8.1.2 存储单元	242
7.1.3 $R-2R$ 倒 T 型电阻 网络 DAC	208	8.1.3 RAM 的扩展	243
7.1.4 权电流型 D/A 转换 电路	209	8.1.4 RAM 与微型计算机系统 的连接	245
7.1.5 D/A 转换器的主要技术 指标	210	8.2 只读存储器 ROM	246
7.1.6 集成 DAC	212	8.2.1 ROM 的结构及工作 原理	246
7.2 A/D 转换器	214	8.2.2 PROM	247
7.2.1 A/D 转换的一般步骤	215	8.2.3 EPROM	248
7.2.2 采样保持电路	216	8.2.4 E^2 PROM	249
7.2.3 并联比较型 A/D 转换器	217	8.2.5 FLASH	250
7.2.4 逐次渐近型 A/D 转换器	219	8.2.6 ROM 芯片应用举例	251
7.2.5 双积分型 A/D 转换器 ...	221	8.2.7 衡量存储器性能的技术 指标	253
7.2.6 A/D 转换器的主要 技术指标	225	8.3 可编程逻辑器件 PLD	254
7.2.7 集成 ADC	226	8.3.1 PLD 的基本结构	255
7.3 DAC 和 ADC 应用举例	229	8.3.2 PLD 的分类	255
7.3.1 数据采集系统的技术 要求	229	8.3.3 PLD 的应用	257
		课题小结	260
		思考与练习	260
		附录 常用数字集成电路	262
		参考文献	270

课题1

逻辑代数基础

知识目标	理解数字信号和数字系统的基本概念；掌握二进制数的表示方法，理解8421 BCD码；熟练掌握逻辑代数的基本逻辑运算和基本定律，熟练掌握代数法和卡诺图法化简逻辑函数的基本方法；熟悉几种常用的数字器件及其逻辑符号的表示方法
技能目标	能熟练应用代数法对逻辑函数化简；能熟练应用卡诺图法对逻辑函数化简

课题描述

21世纪是信息数字化的时代，“数字电子技术”是数字技术的基础。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、数字测量仪表以及家用电器等各个技术领域中的应用日益广泛，如图1.1所示。所以要学好数字技术首先应掌握逻辑代数基础知识。

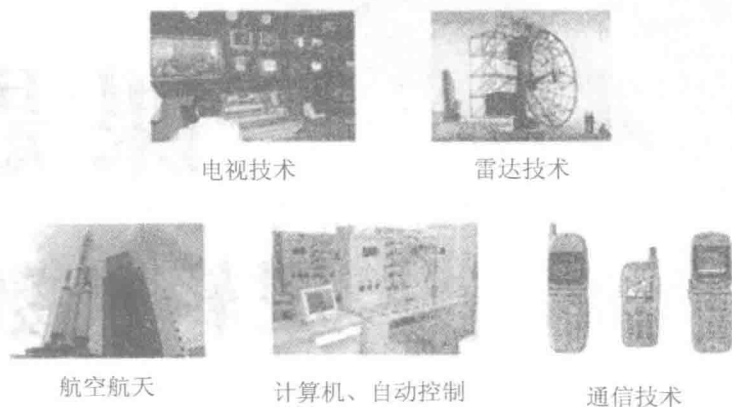


图 1.1 数字技术的应用

1.1 数字信号与数字电路

1.1.1 数字信号和模拟信号

工程上把电信号分为模拟信号和数字信号两大类。

模拟信号是指在时间和幅值上都连续变化的信号，从自然界感知的大部分物理量都是模拟性质的，例如温度、压力等物理量通过传感器变成的电信号，模拟语音的音频信号和模拟图像的视频信号等，如图 1.2(a)所示。对模拟信号进行传输、处理的电路称为模拟电路。

数字信号是指在时间和幅值上都不连续的离散信号，通常是由数字 0 和 1 来表示，在电路中由低电平和高电平来表示，例如计算机中各部件之间传输的信息、VCD 中的音视频信号等，如图 1.2(b)所示。对数字信号进行传输、处理的电路称为数字电路，如数字电子钟、数字万用表的电子电路都是由数字电路组成的。



图 1.2 模拟信号和数字信号的波形

(a) 模拟信号波形 (b) 数字信号波形

1.1.2 数字电路的特点

与模拟电路相比，数字电路主要有如下特点：

(1) 数字电路在稳态时，电子器件(如二极管、三极管)处于开关状态，即工作在饱和区和截止区。这和二进制信号的要求是相对应的，因为饱和和截止两种状态的外部表现正是电流的有无、电压的高低，这种有和无、高和低相对应的两种状态分别用 1 和 0 两个数码来表示。



(2) 数字电路的基本单元电路比较简单,对元件的精度要求不高,允许有较大的误差。因为数字信号的1和0没有任何数量的含义,只是表示两种相反的状态,所以电路工作时只要能可靠地区分1和0两种状态就可以了。因此,数字电路便于集成化、系列化生产。它具有使用方便,可靠性高,价格低廉等优点。

(3) 在数字电路中,研究的主要内容是输入信号和输出信号之间的逻辑关系,以反映电路的逻辑功能。数字电路的研究可以分为两种:一种是对已有电路分析其逻辑功能,叫做逻辑分析;另一种是按逻辑功能要求设计出满足逻辑功能的电路,称为逻辑设计。

(4) 由于数字电路工作状态、研究内容与模拟电路不同,所以分析方法也不同。在数字电路中,表示电路功能的方法常常是用真值表、逻辑函数式、卡诺图、特性方程及状态转换图等。

(5) 数字电路能够对数字信号进行各种逻辑运算和算术运算,所以在各种数控装置、智能仪表以及计算机等中得到广泛应用。

1.1.3 数字电路的分类

(1) 按集成度分类:数字电路可分为小规模(SSI,每片数十器件)、中规模(MSI,每片数百器件)、大规模(LSI,每片数千器件)和超大规模(VLSI,每片器件数目大于1万)数字集成电路。

(2) 按所用器件制作工艺的不同:数字电路可分为双极型(TTL型)和单极型(MOS型)两类。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) 按照电路的结构和工作原理的不同:数字电路可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两类。组合逻辑电路没有记忆功能,其输出信号只与当时的输入信号有关,而与电路以前的状态无关;时序逻辑电路具有记忆功能,其输出信号不仅和当时的输入信号有关,而且与电路以前的状态有关。

(4) 数字集成电路从应用的角度又可分为通用型和专用型两大类。

1.2 常用的数制、编码及相互转换

1.2.1 常用的数制

数制是计数进位制的简称。在我们日常生活中常使用的是十进制数,而在数字电路中采用的是二进制数。二进制数的优点是运算规律简单且实现二进制数的数字装置简单。二进制数的缺点是人们对其使用时不习惯,且当二进制位数较多时,书写起来很麻烦,特别是在写错了以后不易查找错误。为此,书写时常采用八进制和十六进制数。

1. 十进制

数码为:0~9;基数是10。

运算规律:逢十进一,如:9+1=10。

任意十进制数可表示为

$$(N)_{10} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times R^i = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 10^i \quad (1.1)$$

式中, K_i 表示第 i 个数码, R 表示基数, R^i 表示位权。

【应用实例 1.1】

$$(209.04)_{10} = 2 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 0 \times 10^{-1} + 4 \times 10^{-2}$$

2. 二进制

数码为: 0、1; 基数是 2。

运算规律: 逢二进一, 如: $1+1=10$ 。

任意二进制数可表示为

$$(N)_2 = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times R^i = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 2^i \quad (1.2)$$

【应用实例 1.2】

$$(101.101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

3. 八进制

数码为: 0~7; 基数是 8。

运算规律: 逢八进一, 如: $7+1=10$ 。

任意八进制数可表示为

$$(N)_8 = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times R^i = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 8^i \quad (1.3)$$

【应用实例 1.3】

$$(207.04)_8 = 2 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2}$$

4. 十六进制

数码为: 0~9、A~F; 基数是 16。

运算规律: 逢十六进一, 如: $F+1=10$ 。

任意十六进制数可表示为

$$(N)_{16} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times R^i = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 16^i \quad (1.4)$$

【应用实例 1.4】

$$(D8.A)_{16} = 13 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1}$$

这几种进制数之间的对应关系见表 1-1。

表 1-1 几种进制数之间的对应关系

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	00000	0	0
1	00001	1	1
2	00010	2	2
3	00011	3	3
4	00100	4	4
5	00101	5	5
6	00110	6	6
7	00111	7	7
8	01000	10	8
9	01001	11	9
10	01010	12	A
11	01011	13	B
12	01100	14	C
13	01101	15	D
14	01110	16	E
15	01111	17	F

1.2.2 不同进制间的转换

1. 非十进制数转换为十进制数

若将非十进制数转换为十进制数, 只要将非十进制数按位权展开, 即可以转换为十进制数。

【应用实例 1.5】

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

2. 二进制数与八进制数的相互转换

(1) 二进制数转换为八进制数: 将二进制数由小数点开始, 整数部分向左, 小数部分向右, 每 3 位分成一组, 不够 3 位补零, 则每组二进制数便是一位八进制数。

【应用实例 1.6】

$$(1101010.01)_2 = 001\ 101\ 010.010 = (152.2)_8$$

(2) 八进制数转换为二进制数: 将每位八进制数用 3 位二进制数表示。

【应用实例 1.7】

$$(374.26)_8 = 011\ 111\ 100.010\ 110 = (11111100.01011)_2$$

3. 二进制数与十六进制数的相互转换

二进制数与十六进制数的相互转换,按照每 4 位二进制数对应于一位十六进制数进行转换。

【应用实例 1.8】

$$(1111010100.011)_2 = 0001\ 1101\ 0100.0110 = (1D4.6)_{16}$$

【应用实例 1.9】

$$(AF4.76)_{16} = 1010\ 1111\ 0100.0111\ 0110 = (101011110100.0111011)_2$$

4. 十进制数转换为二进制数

采用的方法:除基数取余数法、乘基数取整数法

步骤:将整数部分和小数部分分别进行转换。整数部分采用除基数取余数法,小数部分采用乘基数取整数法,转换后再合并。

【应用实例 1.10】

将十进制数 44.375 转换成二进制数。

解:整数部分采用基数连除法,先得到的余数为低位,后得到的余数为高位。小数部分采用乘基数取整数法,先得到的整数为高位,后得到的整数为低位。

2	44	余数	低位	0.375	整数	高位
2	22	 0=K ₀		× 2	 0=K ₁	
2	11	 0=K ₁		0.750		
2	5	 1=K ₂		0.750		
2	2	 1=K ₃		× 2	 1=K ₂	
2	1	 0=K ₄		1.500		
	0	 1=K ₅		0.500		
			高位	× 2	 1=K ₃	低位
				1.000		

所以: $(44.375)_{10} = (101100.011)_2$

采用除基数取余数法、乘基数取整数法可将十进制数转换为任意的 N 进制数。

1.2.3 常用的编码

编码是对特定事物给予特定的代码。用二进制数对特定事物编码所得二进制代码称为二进制码。编码所得二进制码称为原码,将其各位取反(0 变 1, 1 变 0)所得二进制码称为该原码的反码。在反码基础上加“1”所得二进制码称为该原码的补码。这些表示特定信息的二进制数称为二进制码。寄信时收发信人的邮政编码、因特网上计算机主机的 IP 地址等,就是生活中常见的编码实例。

二进制码很多,下面介绍几种常见的二进制码。

1. 二-十进制码(BCD 码)

用四位二进制数码来表示一位十进制数的编码方法称为二-十进制码,亦称 BCD 码



(Binary - Coded - Decimal)。BCD 码分为有权码和无权码，有权码是指二进制的每一位都有固定的权值，所代表的十进制数为每位二进制数乘权之和，而无权码无需乘权。无论是有权码还是无权码，四位二进制数码共有 16 种组合，而十进制数码仅有 0~9 共 10 个，因此，BCD 码是利用四位二进制数码编出 10 个代码，见表 1-2。

表 1-2 常用二-十进制编码表

十进制数	有 权 码				无 权 码	
	8412 码	5421 码	2421A 码	2421B 码	余 3 码	格雷码
0	0000	0000	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0100	0100	0111	0110
5	0101	1000	0101	1011	1000	0111
6	0110	1001	0110	1100	1001	0101
7	0111	1010	0111	1101	1010	0100
8	1000	1011	1110	1110	1011	1100
9	1001	1100	1111	1111	1100	1101

1) 8421 码

这是使用最多的有权 BCD 码，因为它的四位二进制数对应的权为 8、4、2、1，故称为 8421 BCD 码。它是取自然二进制数的前十个数码来对应十进制的 0~9，即 0000(0)~1001(9)。如果要求 8421 BCD 码的数值，只需将每位二进制数乘权求和即可，如：

$$(0101)_{8421 \text{ BCD}} = 0 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 = 5$$

2) 5421 码和 2421 码

这也是有权码，其名称即为二进制的权。其中 2421 码的编码顺序有两种：2421A 码和 2421B 码。2421B 码具有互补性，即 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 互为反码。例如， $\overline{1011} = 0100$ 。

3) 余 3 码

这是一种无权码，它是由 8421 码加 0011 得来的，即用 0011~1100 来表示十进制 0~9 这 10 个数。它比对应的 8421 码都多 3，所以称为余 3 码。这种代码也具有互补性，很适用于加法运算。

4) 格雷码

这种码也是无权码，又称循环码。它的特点是两组相邻数码之间只有一位代码取值不同，利用这个特性，可避免计数过程中出现瞬态模糊状态，常用于高分辨率设备中。

2. ASCII 码

ASCII 码是美国信息交换标准代码(American Standard Code for Information Interchange)的简称，是目前国际上最通用的一种字符码。计算机输出到打印机的字符码就采

用 ASCII 码。

3. 奇偶校验码

奇偶校验码是最简单的检错码，它能够检测出传输码组中的奇数个码元错误。

奇偶校验码的编码方法：在信息码组中增加 1 位奇偶校验位，使得增加校验位后的整个码组具有奇数个 1 或偶数个 1 的特点。如果每个码组中 1 的个数为奇数，则称为奇校验码；如果每个码组中 1 的个数为偶数，则称为偶校验码。

例如，十进制数 5 的 8421 BCD 码 0101 增加校验位后，奇校验码是 10101，偶校验码是 00101，其中最高位分别为奇校验位 1 和偶校验位 0。ASCII 码也可以通过增加 1 位校验位的办法方便地扩展为 8 位，8 位在计算机中称为 1 个字节，这也是 ASCII 码采用 7 位编码的一个重要原因。

1.3 逻辑代数基础

在数字电路中，我们研究电路的输入和输出之间的逻辑关系，所以数字电路又称逻辑电路，相应的研究工具就是逻辑代数。

逻辑代数也称布尔代数，是 19 世纪英国数学家乔治·布尔首先提出的。所谓逻辑是指事物因果之间所遵循的规律。为了避免用冗繁的文字来描述逻辑问题，逻辑代数采用逻辑变量和一套运算符组成逻辑函数表达式来描述事物的因果关系。它是用代数的方法来研究、证明、推理逻辑问题的一种数学工具。和普通代数一样，逻辑代数也可用 A 、 B 等字母表示变量及函数，所不同的是，在普通代数中，变量的取值可以是任意实数，而在逻辑代数中，每一个变量只有 0、1 两种取值，因而逻辑函数值也只能是 0 或 1。逻辑值 0 和 1 不再具有数量的概念，仅是代表两种对立逻辑状态的符号。逻辑函数与普通代数中的函数相似，是随自变量的变化而变化的因变量。因此，如果用自变量和因变量分别表示某一事件发生的条件和结果，那么该事件的因果关系就可以用逻辑函数来描述。

任何事物的因果关系均可用逻辑代数中的逻辑关系表示，基本的逻辑关系有与逻辑、或逻辑和非逻辑 3 种，与之对应的逻辑运算分别叫与运算、或运算和非运算。

1.3.1 3 种基本逻辑关系

1. 与逻辑

当决定某一事件发生的所有条件都具备时，该事件才会发生，这种因果关系称为“与逻辑”。

例如在表 1-3 所示的串联开关电路中，只有在开关 A 和 B 都闭合的条件下，灯 Y 才亮，这种灯亮与开关闭合的关系就称为与逻辑关系。如果设开关 A 、 B 闭合为 1，断开为 0，设灯 Y 亮为 1，灭为 0，则 Y 与 A 、 B 的逻辑关系可以用表 1-3 所列的真值表、逻辑表达式和逻辑符号来描述。

这种把所有可能的条件组合及其对应结果一一列出来的表格叫做真值表。