



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材
国家工科电工电子教学基地教材

电工电子基础

Digital Electronic Technology

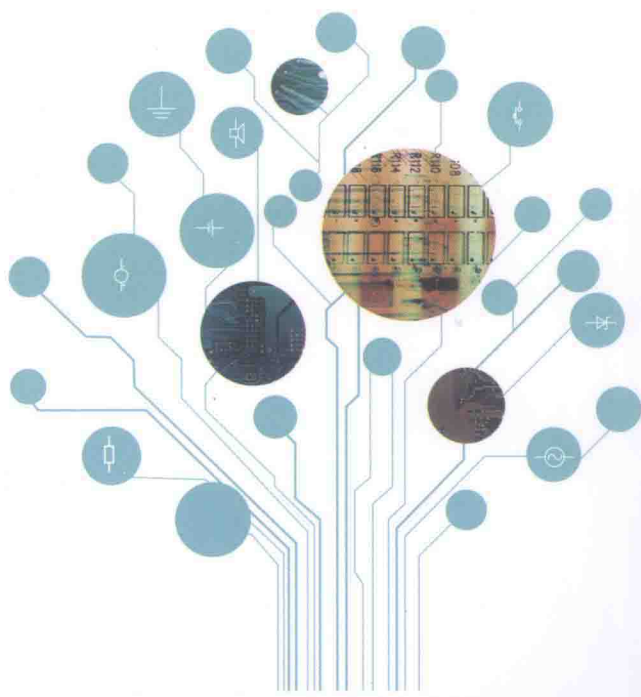
数字电子技术

李承 徐安静 主编

Li Cheng Xu Anjing

张鄂亮 林红 杨红权 参编

Zhang Eliang Lin Hong Yang Hongquan



清华大学出版社





教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会
高等学校电子信息类专业系列教材

Digital Electronic Technology

数字电子技术

李承 徐安静 主编

Li Cheng Xu Anjing

张鄂亮 林红 杨红权 参编

Zhang Eliang Lin Hong Yang Hongquan

清华大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了数字电子技术的基本原理和电路分析方法。主要内容包括数制与逻辑基础、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲的产生与整形、存储器和可编程逻辑器件、模拟量和数字量的转换等。

本书注重概念、方法的论述并配以适当的分析运算。此外,各章配有小结、习题,其中绝大部分习题都附有答案,便于教学和自学。本书可作为高等学校机电类专业“数字电子技术”课程的教材,也可作为电类专业相关课程教学参考用书;还可供有关工程技术人员参考。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/李承,徐安静主编.--北京:清华大学出版社,2014

高等学校电子信息类专业系列教材

ISBN 978-7-302-37056-7

I. ①数… II. ①李… ②徐… 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(2014)第 143020 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15.5 字 数:388 千字

版 次:2014 年 12 月第 1 版 印 次:2014 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:29.00 元

产品编号:057277-01

高等学校电子信息类专业系列教材

一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学（教指委高级顾问）	郁道银	天津大学（教指委高级顾问）
廖延彪	清华大学（特约高级顾问）	胡广书	清华大学（特约高级顾问）
华成英	清华大学（国家级教学名师）	于洪珍	中国矿业大学（国家级教学名师）
彭启琮	电子科技大学（国家级教学名师）	孙肖子	西安电子科技大学（国家级教学名师）
邹逢兴	国防科技大学（国家级教学名师）	严国萍	华中科技大学（国家级教学名师）

一 编审委员会

主 任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘 旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委 员	王志华	清华大学	宋 梅	北京邮电大学
	韩 焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪 伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾 云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢 泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴 瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李 晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡 毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江 毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	谢凯年	赛灵思公司
	刘铁根	天津大学	张伟刚	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	宋 峰	南开大学
	苑立波	哈尔滨工程大学	靳 伟	香港理工大学
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

前言

PREFACE

电子技术的发展经历了一百多年的历史。电子技术的整个发展过程都伴随着新型电子材料的发现及新型电子器件诞生。可以说,新型器件的诞生不断促进电子技术学科发生着深刻变革。1904年Fleming发明了真空二极管,1906年Leede Forest发明了真空三极管,这是电子学发展史上的重要里程碑事件。而有人认为,晶体管是20世纪在电子技术方面最伟大的发明,它推动了信息技术革命,带动了产业革命,开辟了亿万个就业岗位,改变了人类社会工作方式和生活方式,奠定了现代文明社会的基础。从1947年世界上第一支晶体管诞生,在相关领域技术与成果发展非常迅速。其标志性事件主要有:1947年12月16日,贝尔实验室工作的William Shockley、John Bardeen、WALTER Brattain三人成功地制造出第一个晶体管;1950年William Shockley开发出双极晶体管(Bipolar Junction Transistor),这是现在通行的标准的晶体管;1953年第一个采用晶体管的商业化设备助听器投入市场;1954年第一台晶体管收音机投入市场;1961年第一个集成电路专利授予Robert Noyce,这为电子设备小型化、微型化奠定了基础;1965年摩尔定律诞生,当时Gordon Moore预测,未来一个芯片上的晶体管数量大约每年翻一倍(10年后修正为每两年翻一倍);1968年罗伯特·诺伊斯和戈登·摩尔从仙童(Fairchild)半导体公司辞职,创立了一个新的企业,这就是英特尔(Intel)公司,Intel是“集成电子设备”(integrated electronics)的缩写。1969年Intel成功开发出第一个PMOS硅栅晶体管技术。这些晶体管继续使用传统的二氧化硅栅介质,但是引入了新的多晶硅栅电极。1971年,Intel发布了其第一个微处理器Intel4004。Intel4004规格为1/8英寸 $\times$ 1/16英寸,包含仅2000多个晶体管,采用Intel10微米PMOS技术生产。1978年,Intel标志性地把Intel8088微处理器出售给IBM,使得IBM的个人电脑得到快速发展。Intel8088处理器集成了2.9万个晶体管,运行频率分为5MHz、8MHz和10MHz。1982年Intel286微处理器(又称80286)推出,成为Intel的第一个16位处理器,Intel286处理器集成了13400个晶体管,运行频率分为6MHz、8MHz、10MHz和12.5MHz。1985年,Intel386微处理器问世,其中集成了27.5万个晶体管,是最初Intel4004晶体管数量的100多倍。Intel386是32位芯片,具备多任务处理能力。1993年,Intel公司的奔腾处理器问世,含有300万个晶体管,采用Intel0.8 μ m技术生产。1999年2月,Intel发布了奔腾III处理器。集成度达到950万个晶体管,采用0.25 μ m技术生产。2002年1月,Intel奔腾4处理器推出,高性能桌面台式电脑由此可实现每秒钟22亿个周期运算。奔腾4采用0.13 μ m技术生产,内含5500万个晶体管。2003年3月,针对笔记本的英特尔迅驰移动技术平台诞生,包含了Intel最新的移动处理器。该处理器基于全新的移动优化微体系架构,采用0.13 μ m工艺生产,包含7700万个晶体管。2005年5月,英特尔第一个主流双核处理器诞生,含有2.3亿个晶体管,采用90nm技术生产。2006年7月,Intel酷睿

2 双核处理器诞生。该处理器含有 2.9 亿多个晶体管,采用 65nm 技术生产。2007 年 1 月,为扩大四核 PC 向主流买家的销售,英特尔发布了针对桌面电脑的 65nm 制程的 Intel 酷睿 2 四核处理器,该处理器含有 5.8 亿多个晶体管。同年,Intel 已经生产出了 45nm 微处理器。

历史上每次器件的创新与发明,都大大促进了相关电路与应用的发展。尤其是集成电路的发展,大大促进了电子技术的发展。使电子技术两大领域“模拟电子技术”和“数字电子技术”都得到飞跃进步。

本书介绍电子技术的一个分支,即数字电子技术。数字电子技术的特点是,电路中晶体管工作在开关状态,电路工作有一个统一的时钟信号控制,有一套完整的分析设计工具,即逻辑代数。因此,数字电路的分析与设计似乎更严格,更有理论依据。在当前的各种电子装置中,数字电路已占有很大比重。因此,学习数字电路与系统分析、设计。具有重要实际意义。

本书主要介绍数字电子技术的基本内容,主要内容包括数制与逻辑基础、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲的产生与整形、存储器和可编程逻辑器件、模拟量和数字量的转换等。

本教材是为我校机电类专业学生学习模拟电子课程编写的,内容的取舍、安排主要考虑了要适合高等学校相关专业对模拟电子技术课程的教学需要,特别是学科交叉与融合的需要,同时也体现本学科的成果与技术发展现状。

根据机电类学生的教学要求,在教材编写中,对传统的教材内容作了必要的取舍,将学生最需要的基础知识和本课程的核心部分内容都作了一定的加深或扩充,便于学生学习。本书的特点有:

(1) 在强调了基础知识的同时,注重了知识的应用。主要体现在对于电路的定性分析和定量计算时,都是从基本概念出发,避免了繁杂的公式推导。

(2) 加强了集成电路的内容,对集成电路的讨论强化“外部”淡化“内部”,使教材内容更符合电子技术发展的趋势。

(3) 体现了数字电子基础的工程性特点,既注重原理、分析方法等,也注重了应用问题。

在本书编写中,我们力求体现内容丰富、重点突出、适应性强、体现发展等特点。既处理好重要内容、较重要内容与一般内容的关系;也处理好打好基础、面向应用与新技术介绍的关系。立足于有利于学生建立坚实基础、增强创新意识、培养实践能力;立足于有利于学生学以致用,为解决实际工程问题打下基础。

本书由华中科技大学电工学课程组编写,其中,李承编写了第 1~2 章,张鄂亮编写了第 3 章,林红编写了第 4~5 章,徐安静编写了第 6 章,杨红权编写了第 7~8 章。李承、徐安静担任主编,并负责全书统稿。

由于工作繁忙,加上编者水平所限,错误与疏漏之处在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2014 年 10 月于华中科技大学

目录

CONTENTS

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 数字信号的特点	1
1.1.1 模拟信号与数字信号	1
1.1.2 脉冲信号的主要参数	2
1.1.3 数字电路	3
1.2 数制与码制	4
1.2.1 几种常用的进位计数制	4
1.2.2 不同数制数之间的相互转换	5
1.3 二进制编码	9
1.3.1 二-十进制编码	9
1.3.2 字符编码	12
1.4 基本逻辑运算	13
1.4.1 逻辑变量与逻辑函数	13
1.4.2 基本逻辑运算	14
1.5 逻辑代数的公式和规则	17
1.5.1 基本公式	17
1.5.2 常用公式	18
1.5.3 逻辑代数的 3 个规则	20
1.6 逻辑函数的代数化简法	22
1.6.1 逻辑表达式的类型及最简与或表达式	22
1.6.2 公式化简法	23
1.6.3 卡诺图化简法	24
1.6.4 具有约束项的逻辑函数的化简	31
1.6.5 逻辑函数表示方法之间的转换	33
本章小结	37
习题	38
第 2 章 门电路	40
2.1 半导体器件的开关特性	41
2.1.1 二极管的开关特性	41
2.1.2 三极管的开关特性	43
2.1.3 MOS 管的开关特性	46
2.2 分立元件门电路	48
2.2.1 二极管与门	48

2.2.2	二极管或门	49
2.2.3	三极管非门(反相器)	50
2.3	TTL 集成门电路	51
2.3.1	TTL 反相器	52
2.3.2	其他逻辑功能的门电路	58
2.3.3	TTL 集电极开路门和三态门	60
2.4	CMOS 集成门电路	62
2.4.1	CMOS 反相器	63
2.4.2	其他逻辑功能的 CMOS 门电路	65
2.4.3	CMOS 传输门、三态门和漏极开路门	67
2.4.4	门电路在使用中应注意的若干问题	69
	本章小结	71
	习题	72
第 3 章	组合逻辑电路	77
3.1	组合逻辑电路的分析与设计方法	77
3.1.1	组合逻辑电路的分析方法	77
3.1.2	组合逻辑电路的设计方法	80
3.2	常用的集成组合逻辑电路及其应用	83
3.2.1	加法器	83
3.2.2	编码器	87
3.2.3	译码器	92
3.2.4	数据分配器	99
3.2.5	数据选择器	100
3.2.6	数值比较器	103
3.3	组合逻辑电路中的竞争冒险	107
3.3.1	产生竞争冒险的原因	107
3.3.2	检查竞争冒险的方法	108
3.3.3	消除竞争冒险的方法	109
	本章小结	110
	习题	110
第 4 章	触发器	113
4.1	触发器的特点	113
4.2	RS 触发器	113
4.2.1	基本 RS 触发器	113
4.2.2	同步 RS 触发器	116
4.2.3	主从 RS 触发器	118
4.2.4	集成 RS 触发器	120
4.3	JK 触发器	120
4.3.1	主从 JK 触发器	120
4.3.2	边沿 JK 触发器	123
4.4	其他功能触发器	126
4.4.1	D 触发器	126
4.4.2	T 触发器和 T' 触发器	128

4.5 触发器功能的转换	129
本章小结	129
习题	130
第5章 时序逻辑电路	133
5.1 时序逻辑电路的特点与分析方法	133
5.1.1 时序逻辑电路的特点	133
5.1.2 时序逻辑电路的一般分析方法	135
5.2 计数器分析	138
5.2.1 异步计数器	138
5.2.2 同步计数器	142
5.3 计数器设计	144
5.3.1 用触发器设计同步计数器	144
5.3.2 用中规模集成计数器设计 N 进制计数器	147
5.4 寄存器和移位寄存器	153
5.4.1 数据寄存器	153
5.4.2 移位寄存器	154
5.4.3 移位寄存器型计数器	156
本章小结	160
习题	161
第6章 脉冲产生与整形电路	165
6.1 555 定时器	166
6.1.1 555 定时器的电路组成	166
6.1.2 555 定时器的工作原理	167
6.2 施密特触发器	167
6.2.1 用 555 定时器接成施密特触发器	168
6.2.2 其他形式的施密特触发器	169
6.2.3 施密特触发器的应用	171
6.3 单稳态触发器	171
6.3.1 用 555 定时器接成单稳态触发器	171
6.3.2 其他形式的单稳态触发器	173
6.3.3 单稳态触发器的应用	176
6.4 多谐振荡器	177
6.4.1 用 555 定时器接成多谐振荡器	177
6.4.2 其他形式的多谐振荡器	179
本章小结	181
习题	182
第7章 存储器和可编程逻辑器件	185
7.1 只读存储器	185
7.1.1 掩模只读存储器	186
7.1.2 可编程只读存储器(PROM)	187
7.1.3 可擦除可编程只读存储器(EPROM)	188
7.1.4 电擦除可编程存储器(EEPROM)	189

7.1.5 存储器应用举例	190
7.2 随机存储器	193
7.2.1 静态随机存储器的结构、原理	193
7.2.2 随机存储器的应用	194
7.3 可编程逻辑器件	196
7.3.1 可编程逻辑器件的基本结构	197
7.3.2 可编程逻辑器件的电路表示	197
7.3.3 可编程阵列逻辑(PAL)	198
7.3.4 PAL 的应用举例	201
本章小结	202
习题	203
第8章 模拟量和数字量的转换	205
8.1 D/A 转换器	205
8.1.1 权电阻网络 D/A 转换器	206
8.1.2 T 型电阻网络 D/A 转换器	208
8.1.3 D/A 转换器的主要技术指标	210
8.1.4 集成 D/A 转换器	211
8.2 A/D 转换器	213
8.2.1 逐次逼近型 A/D 转换器	215
8.2.2 双积分型 A/D 转换器	217
8.2.3 A/D 转换器的主要技术指标	219
8.2.4 集成 A/D 转换器	219
本章小结	221
习题	222
部分习题参考答案	225
参考文献	236

内 容 提 要

本章在简要介绍脉冲信号与数字信号概念的基础上,讨论了数字电路的概念与定义;然后从常用的十进制数出发,分析讨论了各种不同数制下数的表示方法,同时重点讨论了各种数制下数值之间的转换方法。本章还讨论了二-十进制编码方法。重点讨论了几种 BCD 码编码规则,也对字符和符号的编码问题做了简单介绍。在介绍逻辑代数的基本概念、常用公式和定理的基础上,着重讲解逻辑函数的公式化简法和卡诺图化简法。最后介绍和归纳了逻辑函数的几种常用表示方法。

1.1 数字信号的特点

1.1.1 模拟信号与数字信号

总的来说,电子电路中的信号可以分为两大类,即模拟信号和数字信号。模拟信号是时间连续、数值(幅度)也连续的信号。模拟信号来自于自然界客观存在的一些物理量,例如,电压、电流、速度、压力、温度等。这些量的共同特点是随时间连续变化。如电压 u 可以用测量仪器测量出某个时刻的瞬时值(或有效值,或某段时间之内的平均值),这种信号就是模拟信号,处理模拟信号的电路称为模拟电路。

数字信号是指在时间上和数值(幅度)上都不连续的信号。如电子表的秒信号、生产流水线上记录零件个数的计数信号等。这些信号的变化发生在一系列离散的瞬间,其数值也不连续。处理数字信号的电路称为数字电路。

目前,数字信号常采用二值逻辑表示,因此也认为数字信号只有两种相互对立的状态,常采用 0 和 1 两个数码表示这两种状态。正因为数字信号的表示以 0、1 二值为基础,数字信号又可以采用脉冲信号来表示。脉冲信号具有边沿陡峭、持续时间短的特点。图 1.1.1 所示即为表示数字信号的一种脉冲波形。

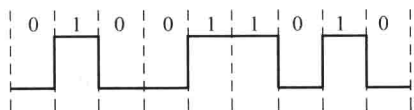


图 1.1.1 脉冲波形表示的数字信号

图 1.1.1 所示波形也称为数字波形。如假设图 1.1.1 中信号为电压信号,则可以看出

该信号有以下特点:

(1) 信号只有两个电压值,即脉冲出现时相对较高的电压和脉冲没有出现时相对较低的电压。在数字电路中,常常把高电压称为高电平,低电压称为低电平。因此,脉冲的两个电压值也被称为两个逻辑电平。

(2) 图 1.1.1 中把高电平用 1 表示,低电平用 0 表示,这就是所谓的正逻辑规定。在数字系统中,除特殊情况外一般都采用正逻辑规定。

(3) 信号从高电平变为低电平,或者从低电平变为高电平的过程是一个突然变化的过程,发生在某些离散的时刻,这是脉冲信号的特点。

(4) 采用一个脉冲信号表示一个数字量时,既要高、低电平,还要看高、低电平持续的时间。如果把图 1.1.1 中的脉冲对应一个数字量,那么该数字量为 010011010。

在数字系统中,脉冲不仅经常用于表示数字量或数字信号,还是数字系统工作的统一时间基础。因此有必要讨论一下脉冲的主要参数。

1.1.2 脉冲信号的主要参数

图 1.1.2 为一个理想的周期性方波脉冲信号,它可用以下几个参数来描述。

- A ——信号幅度。它表示信号波形变化的最大值。
- T ——信号的重复周期。信号的重复频率 $f=1/T$ 。
- t_w ——脉冲宽度。它表示脉冲的作用时间。
- D ——占空比。它表示脉冲宽度 t_w 占整个周期 T 的百分比。定义为

$$D = \frac{t_w}{T} \times 100\% \quad (1.1.1)$$

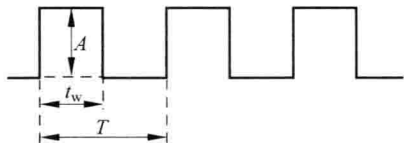


图 1.1.2 理想的周期脉冲波形

在实际的数字系统中,脉冲不可能是理想的,脉冲的上升与下降都要经历一段时间。图 1.1.3 所示为一个实际方波脉冲波形。

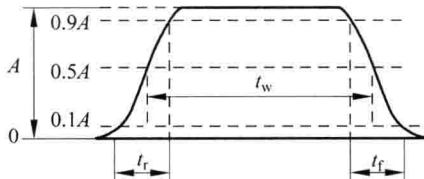


图 1.1.3 实际方波脉冲波形

对于如图 1.1.3 所示的脉冲信号,除了上述理想脉冲的几个参数以外,还有两个重要的参数,即上升时间 t_r 和下降时间 t_f 。它们的定义为:

- 上升时间 t_r 。指从脉冲幅值的 10% 上升到 90% 所需要的时间。
- 下降时间 t_f 。指从脉冲幅值的 90% 下降到 10% 所需要的时间。

此外,非理想数字信号的脉冲宽度 t_w 定义为脉冲幅值的 50% 两个点之间相距的时间。显然,上升时间 t_r 与下降时间 t_f 的值越小,脉冲就越接近理想脉冲波形。数字电路器件的上升时间 t_r 与下降时间 t_f 的典型值约为几个纳秒(ns)。在分析数字电路波形时,大多数情况下都把脉冲波形画成理想波形,只是在必要时才考虑上升时间和下降时间。

1.1.3 数字电路

前面已经说过,电子电路中的信号可分为模拟信号和数字信号两类。而对数字信号进行发送、传输、接收和处理的电子电路称为数字电路,这就是本书将要讨论的主要内容。

数字电路大致包括信号的产生、放大、整形、传输、控制、存储、计数和运算等电路。

作为一个例子,图 1.1.4 为一个数字频率计的方框图。

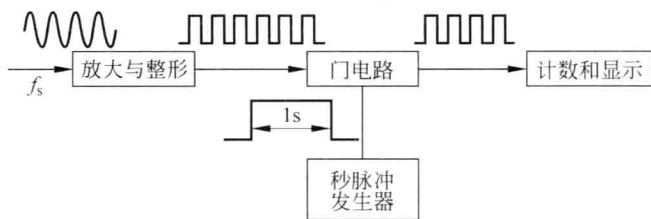


图 1.1.4 数字电路的一个应用例子——数字频率计

数字频率计的作用是测量周期信号的频率。假定被测信号为正弦波,它的频率为 f_s 。为了把被测信号的频率用数字直接显示出来,首先要将被测的模拟信号放大、整形,使被测信号变换成同频率的矩形脉冲信号。既然是测量频率,则还需要有个时间标准,以秒(s)为单位,把 1s 内通过的脉冲个数记录下来,就得出了被测信号的频率。这个时间标准由秒脉冲发生器产生,它产生宽度为 1s 的矩形脉冲。秒脉冲控制门电路在这 1s 内,信号经整形后的矩形脉冲通过门电路进入计数器,计数器累计 1s 内的信号个数就是被测信号在 1s 内重复的次数,即信号的频率。最后通过显示器显示出来。

数字电路有以下几个特点。

(1) 数字电路的工作信号是离散变化的数字信号,所以在数字电路中工作的半导体管多数工作在开关状态,即工作在饱和区和截止区,而放大区只是其过渡状态。

(2) 数字电路主要研究的是输出信号的状态(0 或 1)与输入信号的状态之间的关系,因而不能采用模拟电路的分析方法,例如,微变等效电路法等。

(3) 数字电路的主要数学分析工具是逻辑代数,而数字电路功能的主要表达形式有真值表、逻辑表达式、卡诺图、逻辑电路图以及波形图等。

(4) 数字电路不仅可以完成数值运算,而且能进行逻辑判断和运算,这在控制系统中是不可缺少的。

(5) 数字信息便于长期保存,例如可将数字信息存入磁盘、光盘等长期保存。

(6) 数字集成电路产品系列多、通用性强、成本低、可靠性高。

由于一系列的优点,数字电路在电子设备或电子系统中得到了广泛的应用,计算机、计算器、电视机、音响系统、视频记录设备、光碟、电信及卫星系统等,都采用了数字电路与数字系统。

1.2 数制与码制

1.2.1 几种常用的进位计数制

计数问题是实际中经常遇到的问题,也是数字电路经常涉及的问题。按进位的原则进行计数,称为进位计数制。如生活中常用的十进制等。而计算机中常采用二进制、十六进制等。为讨论方便,还是从十进制开始讨论。

1. 十进制

十进制是人们最熟悉、应用最广泛的一种进位计数制。

所谓十进制就是以 10 为基数的计数体制。它采用 10 个不同的基本数码 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 来表示数。任何一个十进制数都可以用这 10 个数码按一定的排列规律来表示。其进位规则是:逢十进一。因此,十进制就是以 10 为基数,遵循逢十进一原则的进位计数制。

例如,十进制数 666.66 可表示为

$$666.66 = 6 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

其中, 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 分别称为百位、十位、个位、十分位、百分位的位权。从上面的数 666.66 可以看到,相同的数码放在不同的位置,所代表的值大小不同,这是由位权决定的。一般地,一个有 n 位整数、 m 位小数的任意十进制数 D_{10} ,总可以写成下面的通式形式

$$D_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 10^i \quad (1.2.1)$$

式(1.2.1)就是十进制数的一般表示形式。其中 10 为基数,系数 k_i 可为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 中的任意一个数字。

虽然十进制是人们使用最多、最习惯的计数制,但却很难用电路来实现。因为很难找到一个电路或电子器件,而它又有 10 个能被严格区分开的状态来表示十进制数的 10 个基本数码。所以数字电子系统中一般不直接采用十进制,而直接采用二进制。

2. 二进制

作为进位计数制的一种形式,二进制具有和十进制完全相同的性质。即有两个基本数码: 0、1; 采用逢二进一的进位原则。例如数 $(111.01)_2$ 表示一个二进制数,括号后的下标 2 表示该数是二进制数。当然,写在不同位置的 1 或 0 也有不同的位权,数 $(111.01)_2$ 中各位的位权为 2^2 、 2^1 、 2^0 、 2^{-1} 、 2^{-2} 。

一般地,一个有 n 位整数、 m 位小数的任意二进制数 D_2 ,总可以写成下面的通式形式

$$D_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 2^i \quad (1.2.2)$$

式(1.2.2)是二进制数的一般表示式。其中 2 为基数,系数 k_i 可取 0、1 中任意一个数字。

二进制是各种数字系统和计算机中经常直接采用的计数制。

在数字电路中,与十进制相比,二进制具有如下优点。

(1) 用二进制设计的数字电路简单可靠,便于实现。

二进制只有两个数码 0 和 1,因此它的每一个位数都可以用任何具有两个不同稳定状态的元件来表示,而这类元件非常普遍。例如,二极管的导通与断开,三极管的饱和与截止,

开关的闭合与断开等。只需规定其中一种状态为1,则另一种状态就可以用0来表示。由于只有两种状态,所以数码的传输与存储都非常简单。

(2) 二进制的基本运算非常简单,这一点大家将在随后的学习中体会到。

二进制数最大的缺点是表述一个数时位数太多,书写和记忆都不方便。十进制数虽然可以表示二进制数,但十进制数与二进制数之间的转换却较为复杂,一般不被人们所采用,因而在数字电路中引进了十六进制数来表示二进制数。

3. 十六进制

十六进制也是进位计数制的一种形式,因此十六进制有16个基本数码,这16个数码为0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F;采用逢十六进一的进位原则。例如数 $(3D3.0A)_{16}$ 表示一个十六进制数,括号后的下标16表示该数是十六进制数。当然,数 $(3D3.0A)_{16}$ 各位的位权为 16^2 、 16^1 、 16^0 、 16^{-1} 、 16^{-2} 。

一般地,一个有 n 位整数、 m 位小数的任意十六进制数 D_{16} ,总可以写成下面的通式形式

$$D_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 16^i \quad (1.2.3)$$

式(1.2.3)是十六进制数的一般表示式。其中16为基数,系数 k_i 可取0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F中的任意一个数字。

十六进制与二进制数之间有简单对应关系,因此常常采用十六进制数作为二进制数的简记形式,这一问题将在后面讨论。

4. 八进制

八进制有8个基本数码,即0、1、2、3、4、5、6、7;采用逢八进一的进位原则。例如数 $(676.15)_8$ 表示一个八进制数,括号后的下标8表示该数是八进制数,数中各个位的位权分别为 8^2 、 8^1 、 8^0 、 8^{-1} 、 8^{-2} 。

一般地,一个有 n 位整数、 m 位小数的任意八进制数 D_8 ,总可以写成下面的通式形式

$$D_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 8^i \quad (1.2.4)$$

式(1.2.4)是八进制数的一般表示式。其中8为基数,系数 k_i 可取0、1、2、3、4、5、6、7中的任意一个数字。

八进制数与二进制数之间也有简单对应关系,也常采用八进制数作为二进制数的简记形式。

1.2.2 不同数制数之间的相互转换

二进制数是各种数字系统和计算机中常用的形式,但二进制不便于书写,也不便于记忆。另外,人们习惯的进位计数制又是十进制,但数字系统中又不便直接采用十进制数。十六进制数书写简洁,便于识别,但计算机也不能直接采用。因此,实际中经常是在不同场合,采用不同的计数制,这就常常需要在各种数制的数之间进行转换。又因为不同计数制下的数实质上是同一个对象的不同表示形式,所以它们之间当然存在可以互相转换的基础。下面介绍各种数制数之间的相互转换问题。

1. 十进制数与二进制数之间的相互转换

1) 二进制数转换成十进制数

只要将二进制数按式(1.2.2)展开,然后将各项数值按十进制数相加便可以得到等值的