

21世纪高等职业技术教育电子电工类规划教材

数字电子技术 (第四版)

主 编 孙津平

21世纪
高级应用型人才



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

21 世纪高等职业技术教育电子电工类规划教材

数字电子技术

(第 四 版)

主编 孙津平

参编 王 欣 王曙霞

贺利萍 吕 昕

主审 江晓安



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是以教育部颁发的《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》为依据,结合近几年的教学实践经验再次修订编写的。在内容的安排上,全书以学生的“技术应用能力的培养”为主线,以应用为目的,以“必需”和“够用”为度,以讲清概念、强化应用为重点,深入浅出地阐述了数字集成电路的基本工作原理和逻辑功能,突出了中规模集成电路的应用。

全书共分 10 章:绪论,数字电路基础,集成门电路,组合逻辑电路,触发器,时序逻辑电路,存储器和可编程逻辑器件,脉冲产生与变换电路,数/模和模/数转换,数字电子技术实验以及数字电子技术综合应用。除绪论外,每章有练习题,每节有思考题,可供读者练习和思考。书末附有各章习题参考答案。

本书突出了数字电子技术的应用性、实践性,强化了实际应用能力的培养。

本书内容覆盖面广,安排灵活,可作为高等职业教育电子技术类、通信技术类、计算机应用、自动控制、工业电气化等专业的教材,也可作为自学考试或电子技术工程人员学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/孙津平主编. —4 版. —西安:西安电子科技大学出版社,2017.2

21 世纪高等职业技术教育电子电工类规划教材

ISBN 978-7-5606-4332-8

I. ①数… II. ①孙… III. ①数字电路—电子技术 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 010775 号

策 划 马乐惠

责任编辑 马乐惠 马 琼

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2017 年 2 月第 4 版 2017 年 2 月第 19 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 14

字 数 329 千字

印 数 102 001~105 000 册

定 价 25.00 元

ISBN 978-7-5606-4332-8/TN

XDUP 4624004-19

*** 如有印装问题可调换 ***

如有图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言



《数字电子技术》(第四版)是在前三版的基础上,按照我国职业教育改革的新理念和新举措,以教育部颁发的《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》为依据,结合电子信息类及相关电类专业人才培养方案和课程标准的教学要求,以及高等职业教育突出高素质技术技能型人才的培养目标,经过多年教学实践,在广泛征求了相关企业用人单位意见和建议的基础上,充分参考借鉴国内外数字逻辑以及计算机应用方面的教材进行编写和多次修订,并在陕西省职业技术教育委员会的领导下,经陕西省职业技术教育委员会按国家教育部批准的高职高专规划教材要求审定后出版的。本书既可作为高等职业技术电子信息类、通信技术类、计算机应用、自动控制以及电气化等电类专业的教材,也可作为自学考试或电子技术工程人员的学习用书。

本书大部分章节都配有一定数量的典型实用例题,以使读者易于理解和掌握有关理论及分析、设计方法;同时章节后提供的习题类型多样,题量适当,用于帮助读者加深理解巩固相关章节所讨论的理论和方法。

随着数字电子技术的发展,新器件、新知识、新工艺在数字电子技术方面得到日新月异的广泛应用。本书结合职业教育的特点,编写修订力求面向时代发展,及时更新教学观念和内容,在保证基本概念、重要原理和基本分析及设计方法的前提下,简化集成电路的内容、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。此次修订版特别增加了突出数字电子技术实验、实训及综合应用能力的“数字钟”内容,以强化对学习者的实践技能的培养。本书坚持以能力培养为主线,以应用为目的,突出思路与方法的阐述,尽力做到文字简洁流畅,通俗易懂,便于读者阅读理解。为了让读者更好地了解逻辑器件功能,专门将常用数字集成电路一览表作为附录,以便读者根据教学需要选择学习和查阅。

全书共分10章。第1、3章由西安航空职业技术学院王曙霞编写,第2、8章由陕西省石油化工学校贺利萍编写,第5、7章由西安铁路职业技术学院王欣编写,第9、10章由西安铁路职业技术学院吕昕编写,绪论、第4、6章以及附录由西安铁路职业技术学院孙津平编写。孙津平负责全书的最后修改和统稿工作。

本书承蒙江晓安教授审阅,并提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,虽然经过多次修订,书中难免有错漏和欠妥之处,恳请读者在使用中提出批评和指正。

编 者

2016年5月

第一版前言

本书是以教育部颁发的《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》为依据,结合电子信息类及相关专业教学大纲的要求,以及多年从事电子技术教学实践的体会,参考国内外数字逻辑及计算机应用方面的教材编写而成,并在陕西省职业技术教育委员会领导下,经陕西省职业技术教育委员会审定后出版的。本书可作为高等职业技术电子信息类、通信技术类、计算机应用、自动控制及工业电气化等专业的教材,也可作为自学考试或从事电子技术工程人员学习用书。

本书每一章都配有典型实用例题,以使读者易于理解和掌握有关理论及分析、设计方法。所提供的习题用于帮助读者加深理解和巩固所讨论的理论和方法。

随着数字电子技术的发展,新器件、新知识、新工艺在数字电子技术方面得到广泛的应用,结合职业教育的特点,教材编写力求面向发展,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,简化集成电路的内容、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。本书以能力培养为主线,以应用为目的,突出思路与方法的阐述,强调文字简洁流畅,通俗易懂。

根据不同专业教学的安排,特别是针对专业学校在学习数字电子技术时已经学习了有关计算机应用的基础知识的现实情况,我们把有关数制与代码的内容编入本书的附录A、B。同时,为了让读者更好地了解逻辑器件功能,把常用数字集成电路一览表作为附录C,以便于根据教学计划选择学习和查阅。

全书共分八章。第1、3章由王曙霞编写,第2、8章由贺利萍编写,第5、7章由王欣编写,第4、6章由孙津平编写。由孙津平负责全书的最后修改和统稿工作。

本书的参考学时数为80学时。

本书承蒙江晓安教授审阅,并提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错漏和欠妥之处,恳请读者在使用中提出批评和指正。

编者
2000年1月

目 录

绪论	1	2.2.5 TTL 门电路的其他类型	35
0.1 数字信号与数字电路	1	2.2.6 TTL 集成门电路使用注意事项	38
0.2 数字电路的特点与分类	2	2.3 CMOS 集成门电路	39
0.2.1 数字电路的特点	2	2.3.1 CMOS 门电路	40
0.2.2 数字电路的分类	2	2.3.2 CMOS 门电路系列及型号的 命名法	41
0.3 数字集成电路的发展趋势	3	2.3.3 CMOS 集成电路使用注意事项	42
第 1 章 数字电路基础	5	2.3.4 CMOS 电路与 TTL 电路的连接	42
1.1 数制与代码	5	本章小结	44
1.1.1 常用数制	5	习题	44
1.1.2 不同进制数的相互转换	6	第 3 章 组合逻辑电路	46
1.1.3 代码	8	3.1 组合逻辑电路的分析方法和 设计方法	46
1.2 逻辑代数的基本运算	11	3.1.1 组合逻辑电路的分析方法	46
1.2.1 基本概念	11	3.1.2 组合逻辑电路的设计方法	48
1.2.2 三种基本运算	11	3.2 编码器	49
1.2.3 常见的几种复合逻辑关系	13	3.2.1 编码器	49
1.2.4 逻辑函数及其表示方法	14	3.2.2 集成编码器	52
1.3 逻辑代数的定律和运算规则	16	3.3 译码器	53
1.3.1 基本定律	16	3.3.1 概述	53
1.3.2 基本规则	17	3.3.2 集成译码器	54
1.4 逻辑函数的代数化简法	18	3.3.3 译码器的应用	58
1.5 逻辑函数的卡诺图化简	19	3.4 数据选择器和数据分配器	59
1.5.1 逻辑函数的最小项	20	3.4.1 数据选择器	59
1.5.2 卡诺图化简逻辑函数	22	3.4.2 数据分配器	62
1.5.3 具有约束项的逻辑函数的化简	25	3.5 数字比较器	63
本章小结	27	3.5.1 数字比较器的定义及功能	63
习题	27	3.5.2 集成数字比较器	63
第 2 章 集成门电路	29	3.6 算术运算电路	64
2.1 概述	29	3.6.1 半加器	64
2.2 TTL 集成门电路	29	3.6.2 全加器	65
2.2.1 TTL 与非门的工作原理	30	3.6.3 多位加法器	66
2.2.2 TTL 与非门的外特性与参数	31	3.7 组合逻辑电路中的竞争与冒险现象	66
2.2.3 TTL 与非门产品介绍	33	本章小结	67
2.2.4 TTL 门的改进电路	34	习题	68

第 4 章 触发器	70	6.3.2 可编程阵列逻辑(PAL)	116
4.1 概述	70	6.3.3 通用阵列逻辑(GAL)	118
4.2 基本 RS 触发器	71	本章小结	121
4.2.1 电路组成	71	习题	121
4.2.2 功能分析	71	第 7 章 脉冲产生与变换电路	122
4.3 同步触发器	73	7.1 概述	122
4.3.1 同步 RS 触发器	73	7.2 555 定时器	122
4.3.2 同步 JK 触发器	74	7.2.1 555 定时器分类	122
4.4 边沿触发器	76	7.2.2 555 定时器的电路组成	123
4.4.1 负边沿 JK 触发器	76	7.2.3 555 定时器的功能	124
4.4.2 T 和 T' 触发器	78	7.2.4 555 定时器的主要参数	125
4.5 维持阻塞 D 触发器	78	7.3 555 定时器的基本应用电路	126
4.6 COMS 触发器	79	7.3.1 施密特触发器	126
4.7 触发器的相互转换	80	7.3.2 单稳态触发器	128
本章小节	81	7.3.3 多谐振荡器	131
习题	81	7.3.4 555 定时器的具体应用电路	134
第 5 章 时序逻辑电路	84	本章小结	136
5.1 概述	84	习题	137
5.1.1 时序电路的分析方法	85	第 8 章 数/模转换和模/数转换	140
5.1.2 时序电路分析举例	85	8.1 概述	140
5.2 同步计数器	86	8.2 数/模转换器(DAC)	140
5.2.1 同步计数器	87	8.2.1 DAC 的基本工作原理	140
5.2.2 集成同步计数器	90	8.2.2 倒 T 型电阻网络 DAC	141
5.3 异步计数器	94	8.2.3 DAC 的主要技术指标	142
5.3.1 异步计数器	94	8.2.4 集成 DAC 举例	143
5.3.2 集成异步计数器	96	8.3 模/数转换器(ADC)	145
5.4 寄存器	98	8.3.1 ADC 的基本工作原理	145
5.4.1 数据寄存器	98	8.3.2 逐次逼近型 ADC	147
5.4.2 移位寄存器	99	8.3.3 双积分型 ADC	148
本章小结	103	8.3.4 ADC 的主要技术指标	150
习题	104	8.3.5 集成 ADC 举例	151
第 6 章 存储器和可编程逻辑器件	107	本章小结	152
6.1 存储器	107	习题	153
6.1.1 概述	107	第 9 章 数字电子技术实验	154
6.1.2 只读存储器(ROM)	107	9.1 实验一: TTL 与非门逻辑功能测试	
6.1.3 可编程只读存储器	110	及应用	154
6.1.4 ROM 容量的扩展	110	9.2 实验二: 组合逻辑电路的设计	156
6.2 随机存取的存储器(RAM)	112	9.3 实验三: 通用译码器逻辑功能测试	
6.3 可编程逻辑器件	112	及应用	157
6.3.1 可编程逻辑阵列(PLA)	113		

9.4 实验四: 编码、译码及数码显示	159	第 10 章 数字电子技术综合应用	188
9.5 实验五: 数据选择器逻辑功能测试 及应用	163	10.1 数字钟的设计要求及工作原理	188
9.6 实验六: 触发器逻辑功能测试 及应用	165	10.1.1 设计要求	188
9.7 实验七: 同步计数器逻辑功能测试 及应用	169	10.1.2 原理框图	188
9.8 实验八: 异步计数器逻辑功能测试 及应用	172	10.1.3 工作原理	188
9.9 实验九: 移位寄存器逻辑功能测试 及应用	174	10.1.4 数字钟面板	189
9.10 实验十: 555 定时器逻辑功能测试 及应用	176	10.2 数字钟功能	189
9.11 实验十一: 数/模转换器逻辑功能测试 及应用	178	10.2.1 振荡器的设计	189
9.12 实验十二: 模/数转换电路逻辑功能测试 及应用	180	10.2.2 分频器的设计	190
9.13 实验十三: 仿真电路测试	181	10.2.3 计数器的设计	190
本章小结	187	10.2.4 译码显示电路的设计	191
习题	187	10.2.5 校时电路的设计	192
		10.3 数字钟组装综合报告	192
		本章小结	193
		习题	193
		附录 常用数字集成电路一览表	194
		习题参考答案	197
		参考文献	216

绪 论

数字电子技术已经广泛应用于各个领域,无论是现代高精尖的电子设备,还是大家熟悉的计算机、手机、VCD(视频光盘)、数字电视、数码相机等现代电子装置,其核心构成都是数字电子系统。如图 0.1 所示是数字钟电路,它其中既有时序逻辑电路(计数器),又有组合逻辑电路(译码器)和数码显示电路。

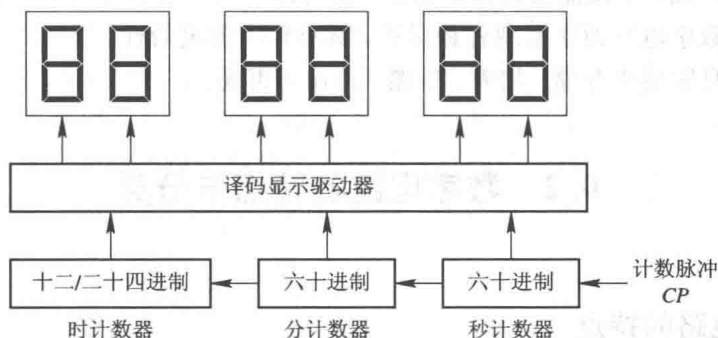


图 0.1 数字钟电路

计数器是数字钟的核心部分,共由三个计数器组成,分别记录数字钟的小时、分钟和秒。它由脉冲电路产生一个秒计数脉冲(CP),提供给数字钟的秒计数器,秒计数器计数满 60 秒后自动回零,并向分钟计数器输出一个进位信号;分计数器开始计数,并计数满 60 分后自动回零,同时向时计数器输出一个进位信号;时计数器按二十四进制(或按十二进制)进行计数,依此类推,完成每天的时间计数(或报时)过程。

0.1 数字信号与数字电路

电子电路所处理的电信号可以分为两大类:一类是在时间和数值上都是连续变化的电信号,称为模拟信号,如图 0.2(a)所示,例如电流、电压等。用于传递、加工和处理模拟信号电子电路,称作模拟电路,如放大器、滤波器、信号发生器等。另一类是在时间和数值上都是离散的电信号,称为数字信号,如图 0.2(b)所示。用于传递、加工和处理数字信号电子电路,称作数字电路,如数字钟、数字万用表、数字频率计、数字温度计等都是由数字电路组成的。

数字电路主要完成数字信号的产生、放大、整形、传送、控制、存储、计数、运算等。数字电路分析及设计的基本工具是逻辑代数,组成数字电路的基本单元电路是逻辑门电路。

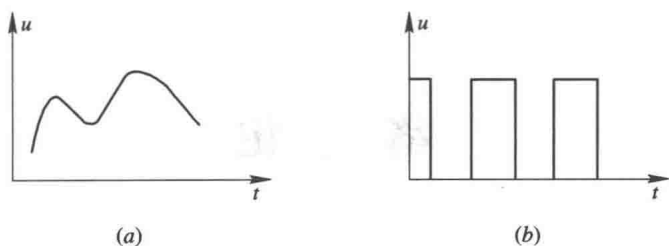


图 0.2 模拟信号和数字信号

(a) 模拟信号; (b) 数字信号

与模拟电路相比,数字电路具有显著的优点:

- (1) 结构简单,便于集成化、系列化生产,成本低廉,使用方便。
- (2) 抗干扰性强,可靠性高,精确度高,稳定性好。
- (3) 处理功能强,不仅能实现数值运算,还可以实现逻辑运算和判断。
- (4) 可编程数字电路便于实现各种运算,具有很大的灵活性。
- (5) 数字信号更易于存储、加密、压缩、传输和再现。

0.2 数字电路的特点与分类

0.2.1 数字电路的特点

由图 0.2(b)可见数字信号是不连续的,反映在电路上只有高电位和低电位两种状态,因此数字电路采用二进制数来传输和处理数字信号。在数字电路中,通常用开关的接通与断开来实现电路的高、低电位两种状态。将高电位称为高电平,用“1”来表示;低电位称为低电平,用“0”来表示;反之亦然。

数字电路的开关状态是由二极管、三极管的导通和截止来实现的。

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(0 或 1)之间的对应关系。这是一种因果关系,即所谓的逻辑关系,反映的是电路的逻辑功能,所以数字电路又称为逻辑电路。对数字电路中的逻辑功能采用逻辑代数来分析,利用真值表、逻辑表达式、逻辑符号(逻辑图)、卡诺图、波形图(时序图)来表示电路的逻辑功能。

0.2.2 数字电路的分类

用二极管、三极管、场效应管、电阻等元件构成的数字电路是基本的单元电路,称逻辑门;如果将若干个逻辑门制作在一个硅片上就构成了现在广泛应用的数字集成电路。数字集成电路按不同划分方法有各种不同的类型。

1) 按集成度分

按集成度分,数字集成电路可分为小规模(SSI,每个硅片上有数十个逻辑门)、中规模(MSI,每片有数百个逻辑门)、大规模(LSI,每片有数千个逻辑门)和超大规模(VLSI,每片数目大于 1 万)等各种集成电路。

2) 按应用范围分

按应用范围分, 集成电路有通用型和专用型两类。通用型是指已被定型的标准化、系列化的产品, 适用于各种各样功能的数字电路。专用型是指为某种特殊用途专门设计、具有特定的复杂而完整功能的数字集成电路, 如: 计算机中的存储器芯片(RAM、ROM), 微处理器芯片(CPU)和语音芯片等。

3) 按所用器件分

按所用器件分, 数字电路有双极型(TTL 型)电路和单极型(MOS 型)电路。双极型电路是用三极管作为开关实现逻辑功能的, 其开关速度快, 频率高, 信号传输延迟时间短, 但制造工艺较复杂。单极型电路是用场效应管作为开关实现逻辑功能的, 其输入阻抗高, 功耗小, 工艺简单, 集成度高, 易于大规模集成生产。目前被广泛应用的是由 P 型和 N 型场效应管构成的 CMOS 集成芯片。

4) 按逻辑功能分

按逻辑功能分, 数字电路有组合逻辑电路和时序逻辑电路。组合逻辑电路没有记忆功能, 其输出信号的状态只与当时输入信号状态的组合有关, 而与电路前一时刻的输出信号状态无关, 如编码器、译码器、数据选择器等都是典型的组合逻辑电路。时序逻辑电路具有记忆功能, 其输出信号的状态不仅与当时的输入信号状态的组合有关, 而且与电路前一时刻输出信号的状态有关, 如触发器、计数器、寄存器等都是典型的时序逻辑电路。

0.3 数字集成电路的发展趋势

当前, 数字集成电路正向着大规模、低功耗、高速度、可编程、可测试和多值化方向发展。

1. 大规模

随着集成电路制造技术的发展, 一块半导体硅片上所能集成的逻辑门个数可达上百万。纳米技术(Nanotechnology)的出现, 进一步提高了集成电路的集成规模, 使集成电路的体积大大缩小, 降低了系统的功耗与成本, 而且提高了数字电路系统的可靠性。

2. 低功耗

功率损耗是许多电子产品研制、生产、推广、使用的一个重要的制约因素, 而系统功耗很大程度上又取决于所使用的集成芯片或模块。现在, 由于集成技术更新和构成集成芯片的材料不同, 使得超大规模的数字集成电路的功耗可低至毫瓦级。低功耗大大拓展了数字集成电路的应用领域。

3. 高速度

在现代信息时代, 人们对信息处理速度的要求越来越高。集成电路芯片本身已经是纳秒(ns)速度进行工作的, 而且现在全世界都在积极研制超高速运算的计算机, IBM 公司甚至已经开始研制一种运算速度高达拍(10^{15})次每秒的超级计算机。显然数字集成电路信息处理速度的不断提高是不容置疑的发展趋势。

4. 可编程

传统的标准 MSI/LSI 数字集成电路是一种通用型集成电路。对于复杂的数字系统的设计,往往需要使用的集成芯片的数量和种类比较多,而且会增加系统的体积和功耗,降低系统的可靠性,也为器件的保存、电路和设备的调试、知识产权的保护等带来了困难。所以,在实际生产现场逐步采用可编程逻辑器件 PLDE(Programmable Logic Device)来解决综合性问题,不仅提高了产品的可靠性和保密性,而且还具有“可编程”特性,可以实现专用 LSI/VLSI 集成电路 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)。

5. 可测试

数字集成电路的规模越来越大,功能也越来越复杂。为了使数字系统的使用和维护更加方便,所使用的逻辑模块应该具有“可测试性”(Testability),即可方便地对其进行功能测试和故障诊断,可测试性是未来数字集成电路的一个重要的发展趋势。

6. 多值化

传统的数字集成电路是一种二值电路,在信号的产生、存储、传送、识别、处理等方面具有很多优点。为了进一步提高集成电路的信息处理能力,除了在速度上下功夫外,还可采用多值逻辑(Multivalued Logic)电路。从 20 世纪 70 年代起,多值信号和多值逻辑电路(三值和四值数字集成电路)的研究就一直受到世界各国的广泛关注。尽管在目前的技术条件下多值逻辑器件的制作成本太高,还不能像二值集成电路那样得到广泛应用,但它将是提高集成电路信息处理能力的又一个发展方向。

第 1 章 数字电路基础

数字电路基础主要是研究输出数字信号和输入数字信号之间的对应逻辑关系，其分析的主要工具是逻辑代数。为了便于研究数字电路的逻辑关系，现在来分析图 1.1 所示的电路。

图 1.1 是一个楼房照明灯的控制电路。图中 A 、 B 是控制照明灯 F 的两个上、下楼层开关。其逻辑控制关系是在楼上闭合开关 A ，可将灯打开；在楼下闭合开关 B ，又可以将灯关掉。反之，也可以在楼下开灯，楼上关灯。 JA 和 JB 是继电器的两个线圈， JA_1 、 JB_1 代表继电器的常开触点， JA_2 、 JB_2 代表继电器的常闭触点。那么，如何实现和设计灯与开关的控制逻辑关系就是数字电路所要研究的内容。各种数字设备只能对二进制数或二进制代码（如灯亮、灭，开关断、合）进行运算和处理，十进制人们最熟悉，但机器实现起来很困难。

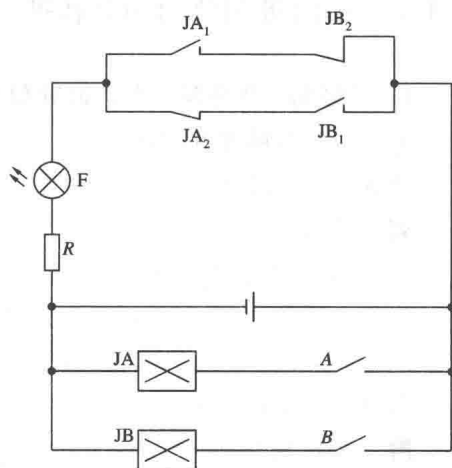


图 1.1 楼房照明灯的逻辑控制电路

1.1 数制与代码

1.1.1 常用数制

1. 二进制数

二进制数的基数是 2，采用两个数码 0 和 1。计数规律是“逢二进一”。二进制数各位的位权为 2^0 ， 2^1 ， 2^2 ，…。任何一个二进制数都可以表示成以基数 2 为底的幂的求和式，即位权展开式。

例 1 $(11010)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$

如果是小数同样可以表示为以基数 2 为底的幂的求和式。但小数部分应是负的次幂。

例 2 $(1011.1)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}$

2. 八进制数

八进制数的基数是 8，采用 8 个数码 0，1，2，3，4，5，6，7。计数规律是“逢八进一”。八进制数各位的位权为 8^0 ， 8^1 ， 8^2 ，…。

例 3 $(325.24)_8 = 3 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 2 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2}$

3. 十六进制数

十六进制数的基数是 16。采用 16 个数码 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F。其中, A 到 F 表示 10 到 15。计数规律是“逢十六进一”。十六进制数各位的位权为 $16^0, 16^1, 16^2, \dots$ 。十六进制数也可以表示成以基数 16 为底的幂的求和式。

例 4 $(70.3)_{16} = 7 \times 16^1 + 0 \times 16^0 + 3 \times 16^{-1}$

在计算机应用系统中, 二进制主要用于机器内部数据的处理, 八进制和十六进制主要用于书写程序, 十进制主要用于运算最终结果的输出。

1.1.2 不同进制数的相互转换

1. 二进制、八进制、十六进制数转换为十进制数

方法: 按权展开并相加。

例 5 $(11011.11)_2 = (?)_{10}$

解 按权展开:

$$\begin{aligned} (11011.11)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 16 + 8 + 2 + 1 + 0.5 + 0.25 \\ &= (27.75)_{10} \end{aligned}$$

例 6 $(25.4)_8 = (?)_{10}$

解 按权展开:

$$\begin{aligned} (25.4)_8 &= 2 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} \\ &= 16 + 5 + 0.5 \\ &= (21.5)_{10} \end{aligned}$$

例 7 $(AC.8)_{16} = (?)_{10}$

解 按权展开:

$$\begin{aligned} (AC.8)_{16} &= A \times 16^1 + C \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} \\ &= 160 + 12 + 0.5 \\ &= (172.5)_{10} \end{aligned}$$

2. 十进制数转换为二进制、八进制、十六进制数

方法: 分整数和小数两部分。

① 整数为除以基数取余数倒读(直到商为 0)。

② 小数为乘以基数取整数顺读(直到小数为 0 或按要求保留位数)。

例 8 $(14.625)_{10} = (?)_2$

解 (1) 整数:

2	14		余数为 0	↑ 倒读整数部分为 1110
2	7		余数为 1	
2	3		余数为 1	
2	1		余数为 1	
	0		最后商为 0	

(2) 小数:

$$\begin{array}{r}
 0.625 \\
 \times 2 \\
 \hline
 \boxed{1}.250 \quad \text{整数为 } 1 \\
 \times 2 \\
 \hline
 \boxed{0}.500 \quad \text{整数为 } 0 \\
 \times 2 \\
 \hline
 \boxed{1}.000 \quad \text{整数为 } 1
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \downarrow \\
 \boxed{} \text{ 表示取整数部分} \\
 \text{顺读小数部分为} \\
 101
 \end{array}$$

即: $(14.625)_{10} = (1110.101)_2$

例 9 $(28.75)_{10} = (?)_8$

解 (1) 整数:

$$\begin{array}{r}
 8 \overline{) 28} \quad \text{余数为 } 4 \\
 \underline{8 } \\
 8 \overline{) 3} \quad \text{余数为 } 3 \\
 \underline{0} \\
 0 \quad \text{最后商为 } 0
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \uparrow \\
 \uparrow \\
 \uparrow
 \end{array}$$

(2) 小数:

$$\begin{array}{r}
 0.75 \\
 \times 8 \\
 \hline
 \boxed{6}.00 \quad \text{整数为 } 6
 \end{array}$$

即

$$(28.75)_{10} = (34.6)_8$$

例 10 $(0.39)_{10} = (?)_2$

解

$$\begin{array}{r}
 0.39 \times 2 = 0.78 \quad \text{整数为 } 0 \\
 0.78 \times 2 = 1.56 \quad \text{整数为 } 1 \\
 0.56 \times 2 = 1.12 \quad \text{整数为 } 1 \\
 0.12 \times 2 = 0.24 \quad \text{整数为 } 0 \\
 0.24 \times 2 = 0.48 \quad \text{整数为 } 0 \\
 0.48 \times 2 = 0.96 \quad \text{整数为 } 0 \\
 0.96 \times 2 = 1.92 \quad \text{整数为 } 1 \\
 \dots
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \downarrow \\
 \downarrow \\
 \downarrow \\
 \downarrow \\
 \downarrow \\
 \downarrow \\
 \downarrow
 \end{array}$$

即

$$(0.39)_{10} = (0.0110001\dots)_2$$

3. 二进制数转换为八进制、十六进制数

由于二进制和八进制、十六进制之间正好满足 2^3 、 2^4 关系, 因此转换时将二进制数由小数点开始, 分别向两侧每三位或每四位一组, 若整数最高位不足一组, 在左边加 0 补足一组, 小数最低位不足一组, 在右边加 0 补足一组, 然后按每组二进制数转换为八进制数或十六进制数。

例 11 $(1101101010.0110101)_2 = (?)_8 = (?)_{16}$

解 $(001/101/101/010.011/010/100)_2 = (1552.324)_8$
 $(0011/0110/1010.0110/1010)_2 = (36A.6A)_{16}$

4. 八进制、十六进制数转换为二进制数

方法：将每位八进制或十六进制数分别转换为三位或四位二进制数码。

例 12 $(236.74)_8 = (10011110.1111)_2$
 $(A6C.63)_{16} = (101001101100.01100011)_2$

【思考题】

- 1. 在二进制数中，其位权的规律如何？
- 2. 8 位二进制数的最大值对应的十进制数是多少？

1.1.3 代码

1. BCD 码

二-十进制码(简称 BCD 码)，指的是用四位二进制数来表示一位十进制数 0~9。由于四位二进制数码可以表示 16 种不同的组合状态，若用来表示一位十进制数时，只需选用其中 10 种组合(有效组合)，其他 6 种组合是无效的。按选取方式的不同，可以得到如表 1.1 所示常用的几种 BCD 编码，奇偶数校验码等请查阅相关资料。

表 1.1 常用的几种 BCD 码

十进制	有权码			无权码	负权码
	8421 码	5421 码	2421 码	余三码	631-1 码
0	0000	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0001	0100	0010
2	0010	0010	0010	0101	0101
3	0011	0011	0011	0110	0100
4	0100	0100	0100	0111	0110
5	0101	1000	1011	1000	1001
6	0110	1001	1100	1001	1000
7	0111	1010	1101	1010	1010
8	1000	1011	1110	1011	1101
9	1001	1100	1111	1100	1100

在二-十进制码中一般分为有权码和无权码两大类。8421BCD 码是常用的 BCD 码，它是一种有权码，8421 就是指这种码中各位的权分别为 8、4、2、1。余 3 码是无权码，余三码是由 8421 码加 3 后得到的。BCD 码的表示方法也很简单，就是将十进制数的各位数字分别用四位二进制数码表示出来。例如：

$$(56.32)_{10} = (01010110.00110010)_{8421BCD}$$
$$(10000111.0110)_{8421BCD} = (87.6)_{10}$$

2. 格雷码

格雷码是一种无权码,即各位表示的 0 到 1 已经没有固定的权值。这种代码任意两个相邻的码只有一位不同,其余的各位数码均相同,故又称反射循环码。

一位格雷码与一位二进制数码相同,是 0 和 1。由一位格雷码得到两位格雷码的方法是将第一位的 0、1 以虚线为轴折叠,反射出 1、0,然后在虚线上方的数字前面加 0,虚线下方数字前面加 1,便得到了两位格雷码 00、01、11、10,分别表示十进制数 0~3。同样的方法可以得到三位、四位格雷码,如图 1.2 所示。

二位			三位			四位	
加	0	0	0	0	0	十进制	格雷码
0	0	1	0	0	1	0	0000
轴线	-----		0	1	1	1	0001
加	1	1	0	1	0	2	0011
1	1	0	-----			3	0010
(a)			1	1	0	4	0110
			1	1	1	5	0111
			1	0	1	6	0101
			1	0	0	7	0100
			(b)			8	1100
						9	1101
						10	1111
						11	1110
						12	1010
						13	1011
						14	1001
						15	1000
						(c)	

图 1.2 格雷码

3. 数的原码、反码和补码表示

前面提到的二进制数,并没有涉及符号问题,故是一种无符号数。但在实际中,数显然会有正有负,那么在数字设备中“+”、“-”符号是如何表示的呢?

1) 机器数与真值

按我们习惯表示方法正 5 用 +5 表示,二进制数为 +101;负 5 用 -5 表示,二进制数为 -101。在数字设备中“+”、“-”也要数值化,一般将数的最高位设为符号位,“0”表示为“+”,“1”表示为“-”。例如:

+101	→	0101
-101	→	1101
(真值)		(机器数)