



高等学校电气信息类规划教材

总主编 王耀南

数字电子技术

彭华林 凌 敏 主编

湖南大学出版社

高等学校电气信息类规划教材

总主编 王耀南

数 字 电 子 技 术

主 编 彭华林 凌 敏

副主编 蔡明生 张一斌 欧伟明

编 著 张 敏 周来秀 黄建春 康 江

湖南大学出版社

2004 年·长沙

内 容 简 介

本书内容包括数字电路基础;逻辑门电路;组合逻辑电路;触发器;时序逻辑电路;脉冲波形的产生与整形;半导体存储器;数/模与模/数转换;可编程逻辑器件,共九章,每章均有例题,其中多数章有(※号)一节为EWB虚拟仿真实例题。

本书概念清楚,条理清晰,章节编排合理,每章有大量的思考题和习题,易于学习。

本书可作为电气信息类专业大学本科“数字电子技术”课程的教材,也适用于高职高专及有关工程技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/彭华林,凌敏主编. —长沙:湖南大学出版社,
2004.7

(高等学校电气信息类规划教材)

ISBN 7-81053-778-4

I. 数... II. ①彭... ②凌... III. 数字电路—电子技术—
高等学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 063306 号

数字电子技术

Shuzi Dianzi Jishu

主 编: 彭华林 凌 敏

责任编辑: 李继盛

封面设计: 张 毅

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山 邮 编: 410082

电 话: 0731-8821691(发行部), 8821315(编辑室), 8821006(出版部)

传 真: 0731-8649312(发行部), 8822264(总编室)

电子邮箱: press@hnu.net.cn

网 址: <http://press.hnu.net.cn>

印 装: 湖南新华印刷集团有限责任公司(邵阳)

总 经 销: 湖南省新华书店

开本: 787×1092 16 开 印张: 21.75

字数: 503 千

版次: 2004 年 8 月第 1 版 印次: 2004 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1~4 000 册

书号: ISBN 7-81053-778-4/TN·18

定价: 32.00 元

版权所有, 盗版必究
湖南大学版图书凡有印装差错, 请与发行部联系

高等学校电气信息类规划教材

编辑委员会

主 任:章 兢

(湖南大学副校长,教授,博士生导师)

总 主 编:王耀南

(湖南大学电气与信息工程学院院长,教授,博士生导师)

常务副主任:彭楚武 罗 安 何怡刚 黄辉先 黎福海 黄守道 王英健

副 主 任:(按姓氏笔画为序)

王新辉 邓曙光 朱荣辉 刘志壮 陈日新 杨家红 张万奎

张忠贤 周少武 贺达江 黄绍平 彭解华 瞿遂春

委 员:(按姓氏笔画为序)

丁跃浇 方厚辉 王 辉 王 群 王建君 田学军 包 艳

刘祖润 肖强晖 李益华 李正光 李茂军 李春树 李欣然

余建坤 汪鲁才 张学军 金可音 孟凡斌 欧青立 唐勇奇

康 江 黄智伟 揭 屿 曾喆昭 熊芝耀 戴瑜兴

参 编 院 校

(排名不分先后)

湖南大学

国防科学技术大学

湘潭大学

湖南师范大学

长沙理工大学

湖南科技大学

湖南农业大学

南华大学

株洲工学院

湖南工程学院

吉首大学

湖南商学院

湖南理工学院

湖南文理学院

湖南城市学院

邵阳学院

怀化学院

零陵学院

长沙学院

湖南工学院(筹)

序

我国高等教育已经发展到大众化教育的新阶段。随着国家工业化建设迅猛发展,电气信息类专业技术人才的需求也日益增大。为了适应人才培养的这种新形势,跟踪科学技术的前沿进展,我们根据教育部面向 21 世纪电气信息类课程改革的要求,结合湖南大学和兄弟院校长期教学教改的经验,为大学电气信息类本科生编写了这套教材。

电气信息类课程是培养电类专业人才的基础课程,大量概念、理论、方法和工程案例构成了一个完整的技术知识体系。学生要开启心智、培育形成电类专业思维、打下电类专业人才的技术知识基础,必须系统地扎实地学好这些课程。为此,我们在组织编写这套教材时,特别注意了以下几个方面:

一是保证基础。作为大学基础课程,应确保基本概念、基本原理和基本方法的学习。只有透彻地理解和掌握了基础知识,才能顺利地进入电气信息技术领域的大门,才有可能进一步深造。

二是跟踪新技术。电气信息技术发展日新月异,大学教材必须及时吸纳最新技术,使学生了解学科发展动态。本套教材一方面注意反映学科各方面的最新进展,安排了扩充阅读的相关文献题录,指引学生直接接触学科前沿;另一方面还根据学科与技术的发展趋势,对经典知识进行重新组织编排。本套教材还将及时再版,及时更新内容,确保与时俱进,始终处于技术发展的最前沿。

三是注重应用。电气与信息理论源于工程实践,源于科学发现和技术发明,就像艺术源于生活一样。本套教材在讲述基本理论的同时,注重联系工程实际,并把作者的研究成果应用到其中。在正文、例题和习题中,特意安排了大量工程实用问题,通过理论和工程实际的结合,使学生学到知识并掌握方法。

四是文理渗透、启发诱导。为了提升素质,开阔视野,培养科学创新意识,理工科学生应适当了解与学科相关的课程外知识。为此,在许多教材中精心安排了“扩展与思考”的内容,使学生从中体会科学思想、科学方法以及科技与人文、科学与艺术相互交融的精神和境界。

五是部分教材以多媒体 CAI 课件配合。这样可以将重要的知识点以生动形象的画面表现出来,深化认识,提高学习效果,也便于课堂教学。

本套教材经过充分研讨和论证,聘请各院校教学经验丰富、科研基础深厚的教授和副教授担任主编和编写者,是湖南所有电气信息类院校团结协作的成果,是全省最优秀的电气信息工程学科专家学者集体智慧的结晶。

本套教材的编写和出版,得到了湖南大学、国防科学技术大学、湘潭大学、湖南师范大学、长沙理工大学、湖南农业大学、湖南科技大学、南华大学、株洲工学院、湖南工程学院、吉首大学、湖南商学院、湖南理工学院、湖南城市学院、湖南文理学院、邵阳学院、怀化学院、零陵学院、长沙学院、湖南工学院(筹)等高校的通力合作,得到了湖南大学出版社的支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

王耀南

2004 年 6 月于岳麓山

前 言

《数字电子技术》是电气信息类专业必修的专业基础课。它主要讲述如何应用数字电路来进行数字系统逻辑设计的基本理论和方法,对于自动化、电气工程、电子、通信、计算机及相关专业的学生及从事这些方面工作的广大科技工作者来说,熟练地掌握数字电子技术及逻辑设计的基本理论和方法是十分必要的。

随着社会的进步和科学技术的发展,数字系统和数字设备已广泛应用于各个领域。数字电子技术是当前发展最快的学科之一。新的电子器件不断涌现,电子电路的集成度越来越高,系统的规模越来越大,数字电路的设计过程和方法也在不断地发展和完善。由于微电子技术、计算机技术的快速发展,微型计算机的广泛应用,使数字电子技术在现代科学技术领域中所占的地位更重要,应用也更加广泛,同时也对数字电子技术课程的教学提出了新的更高的要求。

本书在内容编排上力求突出基本概念、基本原理和基本分析方法。按照本科学生《数字电子技术》课程教学基本要求编写,全书共有9章:数字电路基础;逻辑门电路;组合逻辑电路;触发器;时序逻辑电路;脉冲波形的产生与整形;半导体存储器;数/模与模/数转换;可编程逻辑器件。

由于数字电子技术课程是一门实践性很强的课程,教学中在注重基本概念、基本原理和基本方法的基础上,更要注重培养学生实践动手能力和设计创新能力。在课堂理论教学中,利用计算机虚拟技术(如 electronics workbench),将一部分教学内容以虚拟实验演示进行教学,可使教学内容更直观更生动,也有利于学生能力的培养。为此,在本书多数章的后面加了一节 EWB 仿真实例(有※号)。

根据高等学校电气信息类规划教材编委会的统一安排,本书由彭华林教授、凌敏副教授主编,蔡明生副教授、张一斌高级工程师、欧伟明副教授任副主编,各章的编写分工是:

- | | | |
|---------|---------|---------|
| 第1章 凌 敏 | 第2章 蔡明生 | 第3章 张 敏 |
| 第4章 周来秀 | 第5章 黄建春 | 第6章 欧伟明 |
| 第7章 康 江 | 第8章 张一斌 | 第9章 彭华林 |

全书由彭华林、凌敏统稿定稿。

在本书的编写过程中,湖南大学电气与信息工程学院院长王耀南教授、副院长黎福海副教授,湖南科技大学信息与电气工程学院院长周少武教授、副院长欧青立教授以及唐东峰老师等,给予了大力支持和帮助,提出过不少指导性、建设性建议,在此向他们表示衷心的感谢!

编 著 者

2004 年 7 月于湖南科技大学

目 次

第1章 数字电路基础

1.1 数字电路的基本概念	(1)
1.1.1 模拟信号与数字信号	(1)
1.1.2 数字信号的主要参数	(2)
1.1.3 数字电路	(2)
1.2 数制与码制	(3)
1.2.1 进位计数制及相互转换	(3)
1.2.2 二进制编码	(8)
1.3 逻辑代数基础	(11)
1.3.1 逻辑变量与逻辑函数	(11)
1.3.2 基本逻辑运算及基本逻辑门	(12)
1.3.3 逻辑函数的表示方法	(16)
1.3.4 逻辑代数运算的基本规则	(19)
1.3.5 逻辑函数的代数化简法	(22)
1.3.6 逻辑函数的卡诺图化简法	(24)
1.4 正负逻辑及逻辑符号的变换	(36)
1.4.1 正负逻辑的逻辑符号	(36)
1.4.2 混合逻辑中逻辑符号的等效变换	(37)
本章小结	(38)
思考题和习题	(38)

第2章 逻辑门电路

2.1 基本逻辑门电路	(42)
2.1.1 逻辑电平的实现	(42)
2.1.2 数字电路中的二极管及二极管门电路	(42)
2.1.3 数字电路中的三极管和三极管非门电路	(46)
2.2 TTL逻辑门电路	(50)
2.2.1 TTL与非门的电路结构与工作原理	(51)
2.2.2 与非门的电压传输特性与输入噪声容限	(53)
2.2.3 TTL与非门的静态输入特性与负载特性	(55)

2.2.4	其他逻辑功能的 TTL 门	(59)
2.2.5	TTL 门电路的产品系列介绍	(63)
2.3	CMOS 门电路	(68)
2.3.1	CMOS 非门电路	(68)
2.3.2	其他 CMOS 门电路	(71)
2.3.3	CMOS 逻辑门产品系列及主要参数	(75)
2.4	集成逻辑门电路的应用	(76)
2.4.1	TTL 门与 CMOS 门之间的接口问题	(76)
2.4.2	用门电路驱动显示器件	(78)
2.4.3	门电路多余输入端的处理	(80)
2.4.4	接地和电源去耦合	(80)
*2.5	EWB 电路仿真例题	(80)
	本章小结	(82)
	思考题和习题	(83)

第3章 组合逻辑电路

3.1	概述	(89)
3.2	组合逻辑电路的分析与设计	(89)
3.2.1	组合逻辑电路的分析方法	(89)
3.2.2	组合逻辑电路的设计方法	(91)
3.3	常用规模组合逻辑电路	(96)
3.3.1	集成电路规模的划分	(96)
3.3.2	编码器	(96)
3.3.3	译码器	(101)
3.3.4	数据分配器	(107)
3.3.5	数据选择器	(108)
3.3.6	数值比较器	(111)
3.3.7	加法器	(114)
3.3.8	组合逻辑电路的 MIS 设计	(117)
3.4	组合逻辑电路中的竞争冒险	(123)
3.4.1	竞争冒险产生的原因	(123)
3.4.2	消除竞争冒险的方法	(123)
*3.5	EWB 电路仿真例题	(125)
	本章小结	(127)
	思考题和习题	(127)

第4章 触发器

4.1	基本触发器	(130)
-----	-------------	-------

4.1.1	基本 RS 触发器	(130)
4.1.2	同步 RS 触发器	(133)
4.2	主从触发器	(136)
4.2.1	主从 RS 触发器	(136)
4.2.2	主从 JK 触发器	(138)
4.3	边沿触发器	(142)
4.3.1	维持-阻塞边沿 D 触发器	(142)
4.3.2	CMOS 主从结构的边沿触发器	(144)
4.4	集成触发器	(147)
4.4.1	集成触发器举例	(147)
4.4.2	触发器功能的转换	(149)
4.4.3	集成触发器的脉冲工作特性和主要指标	(151)
*4.5	EWB 电路仿真例题	(153)
本章小结		(154)
思考题和习题		(155)

第5章 时序逻辑电路

5.1	时序逻辑电路的基本概念	(160)
5.1.1	时序逻辑电路的结构及特点	(160)
5.1.2	时序逻辑电路的分类	(161)
5.1.3	时序逻辑电路功能的描述方法	(161)
5.2	时序逻辑电路的一般分析方法	(161)
5.2.1	分析时序逻辑电路的一般步骤	(162)
5.2.2	同步时序逻辑电路的分析举例	(162)
5.2.3	异步时序逻辑电路的分析举例	(165)
5.3	计数器	(166)
5.3.1	二进制计数器	(167)
5.3.2	非二进制计数器	(170)
5.3.3	集成计数器的应用	(172)
5.4	数码寄存器与移位寄存器	(181)
5.4.1	数码寄存器	(181)
5.4.2	移位寄存器	(183)
5.4.3	集成移位寄存器 74LS194	(185)
5.4.4	移位寄存器构成的移位型计数器	(186)
5.5	时序逻辑电路的设计方法	(188)
5.5.1	同步时序逻辑电路的设计方法	(188)
5.5.2	异步时序逻辑电路的设计方法	(193)
*5.5	EWB 电路仿真例题	(196)

本章小结	(198)
思考题和习题	(198)

第6章 脉冲波形的产生与整形

6.1 集成 555 定时器	(204)
6.1.1 555 定时器的电路结构与工作原理	(204)
6.1.2 555 定时器的功能表	(205)
6.2 施密特触发器	(206)
6.2.1 用 555 定时器构成的施密特触发器	(207)
6.2.2 集成施密特触发器	(208)
6.2.3 施密特触发器的应用举例	(209)
6.3 多谐振荡器	(211)
6.3.1 用 555 定时器构成的多谐振荡器	(211)
6.3.2 占空比可调的多谐振荡器电路	(213)
6.3.3 石英晶体多谐振荡器	(214)
6.3.4 多谐振荡器应用举例	(215)
6.4 单稳态触发器	(216)
6.4.1 555 定时器构成的单稳态触发器	(216)
6.4.2 集成单稳态触发器	(219)
6.4.3 单稳态触发器的应用	(223)
* 6.5 EWB 电路仿真例题	(226)
本章小结	(228)
思考题和习题	(229)

第7章 半导体存储器

7.1 概述	(235)
7.2 随机存取存储器(RAM)	(236)
7.2.1 RAM 的基本结构	(236)
7.2.2 RAM 的存储单元	(238)
7.2.3 RAM 的容量扩展	(241)
7.3 只读存储器(ROM)	(242)
7.3.1 ROM 的分类	(243)
7.3.2 ROM 的结构及工作原理	(244)
7.3.3 ROM 的应用	(247)
7.3.4 常用的 EPROM 举例	(249)
7.3.5 ROM 容量的扩展	(250)
* 7.4 EWB 电路仿真例题	(251)
本章小结	(253)

思考题和习题	(253)
--------------	-------

第8章 数/模与模/数转换

8.1 概述	(255)
8.2 D/A 转换器	(255)
8.2.1 D/A 转换器的基本原理	(255)
8.2.2 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	(258)
8.2.3 权电流型 D/A 转换器	(259)
8.2.4 D/A 转换器的主要技术指标	(260)
8.2.5 D/A 转换器应用举例	(261)
8.3 A/D 转换器	(264)
8.3.1 A/D 转换的基本原理	(264)
8.3.2 取样-保持电路	(265)
8.3.3 并行比较型 A/D 转换器	(266)
8.3.4 逐次比较型 A/D 转换器	(268)
8.3.5 双积分型 A/D 转换器	(270)
8.3.6 A/D 转换器的主要技术指标	(273)
8.3.7 集成 A/D 转换器及其应用	(273)
* 8.4 EWB 电路仿真例题	(275)
本章小结	(278)
思考题和习题	(278)

第9章 可编程逻辑器件

9.1 概述	(281)
9.2 PLD 逻辑表示和基本结构	(282)
9.2.1 PLD 的逻辑表示方法	(282)
9.2.2 可编程逻辑器件(PLD)的阵列结构	(284)
9.3 可编程逻辑阵列(PLA)	(285)
9.3.1 PLA 阵列的组成及分类	(285)
9.3.2 PLA 器件应用举例	(286)
9.4 可编程阵列逻辑(PAL)	(289)
9.4.1 PAL 的基本电路结构	(289)
9.4.2 PAL 器件的应用举例	(291)
9.5 可编程通用阵列逻辑(GAL)	(293)
9.5.1 GAL 器件的基本结构	(294)
9.5.2 输出逻辑宏单元(OLMC)和结构控制字	(296)
9.6 现场可编程门阵列(FPGA)	(300)
9.6.1 FPGA 的基本结构和工作原理	(300)

9.6.2	FPGA 的电路结构	(302)
9.7	复杂可编程逻辑器件(CPLD)	(306)
9.7.1	基于乘积项的 CPLD 基本结构	(306)
9.7.2	基于查找表的 CPLD 的电路结构	(309)
9.7.3	可编程逻辑器件进行电路设计的一般流程	(313)
本章小结		(315)
思考题和习题		(315)
附录	EWB 简介	(318)
参考文献		(333)

第 1 章 数字电路基础

随着电子计算机的普及以及通信技术和现代化电子技术的快速发展,人类已进入了一个信息时代。在这个信息时代里,数字电子技术得到了广泛的应用和发展,它不仅广泛应用于现代数字通信、雷达、自动控制、数字测量仪表、医疗设备等各个科学领域,而且进入了人们的日常生活,如数字相机、数字电视、数字影碟机等。可以预料,数字技术在人类迈向信息社会的进程中,将起到越来越重要的作用。

本章将首先介绍数字信号的基本概念、主要参数以及数字电路的基本知识,使读者在学习数字电路的分析和设计之前,对数字电路有一个基本了解。然后介绍数字逻辑的基本概念和数学工具,主要内容包括计算机等数字设备中的常用数字与代码、逻辑代数基础,包括逻辑变量、逻辑函数、逻辑运算以及逻辑化简等。这些内容都是分析和设计数字电路的基础。

1.1 数字电路的基本概念

1.1.1 模拟信号与数字信号

1. 模拟量与数字量

自然界中存在着各种物理量,其形式千差万别,但就其变化规律而言,可以分为模拟量和数字量两大类。模拟量是指不管在时间上还是在数值上均连续变化的物理量,如温度、压力、速度等;数字量是指不管在时间上还是数值上均是不连续的(离散的)物理量,如人口的统计、产品的个数等。

在实际应用中,许多物理量的测量值既可以用模拟形式表示,也可以用数字形式表示。如:测量某个电压值,用指针式电压表测量时,结果是模拟量的形式,而用数字式电压表测量时,结果是数字量的形式。

利用现代电子技术,可以很方便的实现模拟量与数字量之间的相互转换。

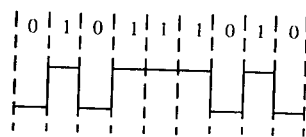
2. 模拟信号与数字信号

表示模拟量的电信号称为模拟信号,如正弦波信号就是典型的模拟信号。工作在模拟信号下的电子电路称为模拟电路。

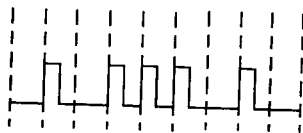
表示数字量的电信号称为数字信号,如方波信号就是典型的数字信号。工作在数字信号下的电子电路称为数字电路。

数字信号有两种传输波形,一种称为电平型,另一种称为脉冲型。电平型数字信号是以一个时间节拍内信号是高电平还是低电平而分别用“1”和“0”来表示,且每个“1”或“0”信号所占的时间间隔都相等,1个“1”或1个“0”称为1位,几个连续的高(低)电平就是几位“1”(“0”),如图1-1(a)所示为9位数字信号。而脉冲型数字信号是以一个时间节拍内

有无脉冲而分别用“1”和“0”来表示。图 1-1(b)所示也为 9 位数字信号。由图可见,电平型和脉冲型数字信号在波形上有显著差别,即电平型数字信号波形在一个节拍内不会归零,而脉冲型数字信号波形在一个节拍内会归零。



(a) 电平型信号



(b) 脉冲型信号

图 1-1 数字信号的传输波形

1.1.2 数字信号的主要参数

数字信号是一种脉冲信号,只有 0 和 1 两个量,用电路状态表示这两个量非常方便,如电压的高与低、三极管的截止与饱和、开关的断开与闭合等。

脉冲信号的种类很多,波形参数各不相同。在数字系统中,主要应用的是矩形脉冲,下面以矩形脉冲为例来说明脉冲波形的基本参数。实际的矩形波形如图 1-2 所示。

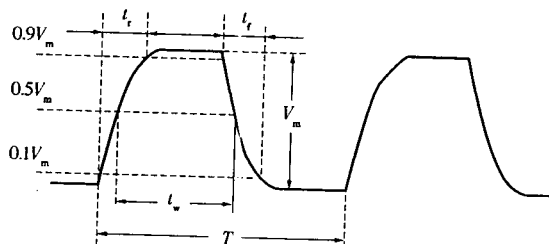


图 1-2 矩形波的基本参数

- (1) 脉冲幅度 V_m : 脉冲电压变化的最大值。
- (2) 脉冲上升时间 t_r : 脉冲上升沿从 $0.1V_m$ 上升到 $0.9V_m$ 所需要的时间。
- (3) 脉冲下降时间 t_f : 脉冲下降沿从 $0.9V_m$ 下降到 $0.1V_m$ 所需要的时间。
- (4) 脉冲宽度 t_w : 脉冲前后沿在 $0.5V_m$ 两点间的时间间隔。
- (5) 脉冲周期 T : 在周期性脉冲序列中,两个相邻脉冲间的时间间隔为脉冲周期。有时也用频率 $f = 1/T$ 表示单位时间内脉冲重复的次数。
- (6) 占空比 q : 脉冲宽度与脉冲周期的比值称为占空比,即: $q = t_w/T$ 。

1.1.3 数字电路

与电路所采用的信号形式相对应,将传送、变换、处理模拟信号电子电路称为模拟电路,将传送、变换、处理数字信号电子电路称为数字电路。

与模拟电路相比,数字电路具有以下特点:

1. 具有算术运算和逻辑运算的功能,速度快

所谓逻辑运算是指按照人们设计好的规律进行逻辑推理和逻辑判断。数字电路不仅可以对各种数字量进行算术运算,完成加、减、乘、除等基本算术操作,而且可以对各种逻辑量进行逻辑运算。它具有根据逻辑变量取值进行逻辑推理和逻辑判断的能力。因此能生产出各种智能仪表、数控装置及数字计算机等,所以数字电路又称为逻辑电路,其突出

的特点是工作速度快。

2. 集成度高

数字信号是不连续变化的,通常只有两种状态,即高电平和低电平,分别用符号“1”或“0”表示。所以数字电路中,半导体三极管通常是工作在开关状态,即饱和或者截止。因此数字电路的基本单元简单,对元器件的精度要求不高,只要能区分“1”和“0”两种状态即可,容易集成化。

3. 数字信号便于长期保存,保密性能好,可靠性高,通用性强

数字电路除了进行逻辑推理和判断即具有一定的“逻辑思维”能力外,还有记忆功能,能够长期存储一定数量的信号,同时还可以采用标准的逻辑部件和可编程逻辑器件来构成各种各样的数字系统,使用方便,通用性强,便于大批量生产。并可进行加密处理,使大量的有用信息资源得以长期保存。而且数字电路多采用集成电路,焊点少,连线少,工作可靠性高。

4. 抗干扰能力强,精度高

因为数字电路传送、变换、处理的都是二进制信号,只有高电平和低电平两种状态,不易受外界干扰,所以抗干扰能力强,同时可用增加二进制数码的位数来提高系统的精度。

5. 便于故障诊断和系统维护

由于数字电路只有两种电平,所以查找故障方便,系统的维护简单。

1.2 数制与码制

本节首先介绍常用计数体制及其相互转换的方法,然后介绍几种常用的编码。

1.2.1 进位计数制及相互转换

表示数值大小的各种计数方法和进位的规则,称为计数体制,简称为数制。一种数制的基本特征是它的基数,基数是数制中表示数值的数码的个数。一个数可以用不同进位的计数制来计量。在日常生活中人们习惯于使用十进制,而在数字系统中常采用二进制、八进制和十六进制等。

1. 常用的计数体制

(1) 十进制

十进制是以10为基数的计数体制,是日常生活和工作中最常用的。它有0,1,2,3,4,5,6,7,8,9十个不同的数字,称为数码,计数规律是“逢十进一”,即在计数的过程中,一旦计数满十,就向高位进一,故称为十进制。

数的表示法一般采用位置计数法。在一个数中,每个我们所说的不同的数,主要体现出位权的大小,如十位、百位、千位等等;其次是系数不同。十进制数的每个数位的位权值是10。

任何一个十进制数按其位置记数法可表示为:

$$(D)_{10} = (a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0a_{-1}\cdots a_{-m})_{10}$$

位置计数法实际上是下面多项式记数法(也称按位权展开式)省略各位权值和运算符并增加小数点(小数点也称为基点)后的简记形式。即:

$$(D)_{10} = a_{n-1}10^{n-1} + a_{n-2}10^{n-2} + \cdots + a_110^1 + a_010^0 + a_{-1}10^{-1} + \cdots + a_{-m}10^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \cdot 10^i$$

式中的 i 表示数中的第 i 位; a_i 为第 i 位的数码(系数), 它可以是 $0 \sim 9$ 十个数码中的任何一个; n, m 为正整数, n 表示整数部分的位数; m 表示小数部分的位数; 10 表示计数制的基数, D 的下标为 10 , 表示 D 是一个十进制数; 10^i 为第 i 位的权。可见, 任何一个十进制数都可以按位权展开: 即把每一位的位权值与各自的系数相乘, 然后对每一项求和得到。如:

$$(2561.347)_{10} = 2 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 1 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 4 \times 10^{-2} + 7 \times 10^{-3}$$

生活中除了十进制外, 人们根据计数的不同要求, 也采用十二进制、六十进制等。按照以上方法, 我们可以写出任意进制数的按位权展开式:

$$(D)_N = a_{n-1}N^{n-1} + a_{n-2}N^{n-2} + \cdots + a_1N^1 + a_0N^0 + a_{-1}N^{-1} + \cdots + a_{-m}N^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \cdot N^i$$

式中 N 称为计数的基数, a_i 为第 i 位的系数, N^i 称为第 i 位的权。根据 N 进制的特点和 $(D)_N$ 表示法, 可以很容易得到其他进制数。

(2) 二进制

在数字电路和计算机中, 机器数是用二进制表示的。二进制是以 2 为基数的计数体制, 它只有 $0, 1$ 两个数码, 计数规律是“逢二进一”, 故称为二进制。在二进制数中, 每个数位的位权值为 2 的幂。因此二进制数也可以按位权展开为:

$$D_2 = (a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0a_{-1}\cdots a_{-m})_2$$

$$= a_{n-1}2^{n-1} + a_{n-2}2^{n-2} + \cdots + a_12^1 + a_02^0 + a_{-1}2^{-1} + \cdots + a_{-m}2^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \cdot 2^i$$

式中, a_i 是第 i 位的系数, 只能是 0 或 1 , n, m 为正整数, 2 是进制制的基数, 2^i 表示该位的权。

例如: 可将二进制数 11010.101 表示为:

$$(11010.101)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

在数字系统中采用二进制是比较方便的, 因为二进制只有两个数码 0 和 1 , 因此, 它的每一位数都可以用某些元器件所具有的两个不同的稳定状态来表示, 如三极管的饱和与截止。某些器件输出电压有低与高两种状态, 只要用其中一种状态表示 1 , 而用另一种状态表示 0 , 就可以表示二进制数了。所以二进制数字电路简单、元件少。但用二进制表示一个数字时通常位数会很多, 书写和阅读很不方便, 而且与人们习惯的计数方法不尽相同, 因而需要把二进制数与其他进制数进行相互转换, 以达到不同的应用目的。

(3) 八进制

由于二进制数的位数很多, 人们常采用二进制的缩写形式——八进制和十六进制。

八进制是以 8 为基数的计数体制。它有 $0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ 八个数码, 计数规律是“逢八进一”, 故称为八进制, 各位数的位权值是 8 的幂。因此八进制数也可以按位权展开为:

$$D_8 = a_{n-1}8^{n-1} + a_{n-2}8^{n-2} + \cdots + a_18^1 + a_08^0 + a_{-1}8^{-1} + \cdots + a_{-m}8^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \cdot 8^i$$

式中 a_i 为第 i 位的系数,取值范围是 $0 \sim 7$ 。例如:

$$(356.47)_8 = 3 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} + 7 \times 8^{-2}$$

(4) 十六进制

十六进制是以 16 为基数的计数体制。它有 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A(10),B(11),C(12),D(13),E(14),F(15) 等十六个数码,计数规律是“逢十六进一”,故称为十六进制,各位数的位权值是 16 的幂。因此十六进制数也可以按位权展开为:

$$D_{16} = a_{n-1}16^{n-1} + a_{n-2}16^{n-2} + \cdots + a_116^1 + a_016^0 + a_{-1}16^{-1} + \cdots + a_{-m}16^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \cdot 16^i$$

式中 a_i 为第 i 位的系数,取值范围是 $0 \sim 9$ 及 $A \sim F$ 。例如:

$$(E5D7.A_3)_{16} = 14 \times 16^3 + 5 \times 16^2 + 13 \times 16^1 + 7 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} + 3 \times 16^{-2}$$

2. 数制间的转换

人们熟悉的是十进制,而计算机等数字设备中使用的却是二进制数或十六进制数。为了便于人机对话,有必要进行各种数制间的转换。

(1) 各种进制转换为十进制

将二进制、八进制、十六进制及其他进制转换为二进制有两种方法:

① 按权展开相加(多项式替代法则)

首先写出待转换的其他进制数的按权展开式,然后求出系数与位权之积,并把各项乘积求和,即可得到转换后的十进制数。

$$\text{如: } (1101.101)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

$$= 8 + 4 + 1 + 0.5 + 0.125 = (13.625)_{10}$$

$$(172.46)_8 = 1 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} + 6 \times 8^{-2}$$

$$= 64 + 56 + 2 + 0.5 + 0.09375 = (122.59375)_{10}$$

$$(4E6.8)_{16} = 4 \times 16^2 + 4 \times 16^1 + 6 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1}$$

$$= 1024 + 224 + 6 + 0.5 = (1254.5)_{10}$$

② 多次倍加法

当位数较多时,用按权展开相加的方法将其他进制数转换为十进制数,会比较麻烦,故可采用多次倍加法。但需把整数和小数部分分开转换。以二进制为例。

整数:首先将最高位乘 2,把所得积与低一位数相加,然后把所得的和再乘 2,以此类推,直到最低位与前面所得结果相加为止。

例如, $(110110)_2$ 转换为十进制数:

1	+	1	+	0	+	1	+	1	+	0
×	↑			↑		↑		↑		↑
2=2		3×2=6		6×2=12		13×2=26		27×2=54		54

则: $(110110)_2 = (54)_{10}$