



21世纪 高职高专通用教材

数字电子技术

● 唐育正 主编

上海交通大学出版社



数字电子技术基础

数字电子 技术



清华大学出版社

21 世纪高职高专通用教材

数 字 电 子 技 术

主 编	唐育正	
副主编	钱剑敏	裴亚男
参 编	井新宇	严隽高
	曹 江	

上海交通天学出版社

内 容 简 介

本套教材由华东六省一市 70 余所高职院校在共同讨论教学大纲的基础上组织编写。本书分 8 章。内容包括:数字电路基础,门电路,组合逻辑电路,时序逻辑电路,脉冲波形的产生和整形,D/A、A/D 转换器,小型数字系统的设计,在系统编程技术与实训。书中附有实验、实训内容。本书以培养学生技术应用能力为本位,把握基本理论必须够用为度的原则,内容贴近工程实际,以集成电路应用为重点,学生学完本课程后具有小型数字电路系统的分析、设计和调试的能力。建议理论教学 54 学时,实验和实训 54 学时。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/唐育正主编. —上海:上海交通大学出版社,2001

21 世纪高职高专通用教材

ISBN 7-313-02621-8

I. 数… II. 唐… III. 数字电路-高等学校:技术学校-教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 85545 号

数字电子技术

唐育正 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人 张天蔚

上海交通大学印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张 19 字数 465 千字

2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月第 1 次印刷

印数:1~5050

ISBN 7-313-02621-8/TN·084 定价:25.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

数字电子技术是电类专业的一门专业基础课。根据高等职业技术教育理论以必需够用为度,突出技术应用能力的特点,对本课程的内容体系作了一些改革,几十家高职院校参与了本课程的教学大纲的论证。在此基础上,江阴职工大学、东华大学、华东交通大学、苏州职业大学、南京化工学校等五所学校联合编写了本教材。

本教材具有以下特点:

1. 教材定位于专科层次,基础知识扎实、简要、透彻。
2. 教材内容以技术应用为主旨,比较贴近工程实际。
3. 实践性教学内容占了较大篇幅,并穿插于各章之中,体现了理论教学与实践教学的有机结合;减少了演示性、验证性的实验,增强了设计性、综合性的实训;同时还加强了对小型数字系统的设计,实际电路工艺能力和调试能力的培养。
4. 充分利用现代化教学手段,加强电子设计自动化(EDA)软件的应用。
5. 教材面向 21 世纪,面向现代化,注意到数字电子技术的最新发展,增加了 PLD 器件及 ISP 技术的知识,立足于应用。

本教材按理论教学 54 学时,实践性教学 54 学时编写。

使用本教材,教学方法可以灵活多样,如可以采用案例教学、现场教学、课堂教学与实践教学有机结合,对各章安排的实训必须完成,任课教师也可根据实际情况增加一些实训内容。

本教材编写人员和内容分工:严隽高编写了第 0 章、第 1 章(1.1~1.5);曹江编写了第 2 章(2.1~2.5)、第 3 章(3.1,3.2);井新宇编写了第 4 章(4.1~4.4)、第 5 章;钱剑敏编写了第 6 章(6.1,6.2)、第 8 章(8.1,8.2);裴亚男编写了第 3 章(3.3)、第 4 章(4.5)的实训;唐育正编写了第 1 章(1.7,1.8)、第 2 章(2.6)、第 6 章(6.3)、第 7 章、第 8 章(8.3,8.4),并统编了全书;许玉铭审阅了全书并作了校对。本教材编写过程中还得到了江阴职工大学教务处的的大力支持,沈莉同志帮助完成了部分文字录入工作,在此表示感谢。

限于编者学术水平,教材中疏漏之处在所难免,欢迎指正。

编 者

21 世纪高职高专通用教材编纂委员会

(以姓氏笔划为序)

编纂委员会顾问

编纂委员会名誉主任

编纂委员会主任

编纂委员会副主任

编纂委员会委员

白同朔 王成福 詹平华

王式正 叶春生

闵光太 潘立本

王永祥 王 乔 王俊堂 王继东 牛宝林

方沛伦 东鲁红 冯伟国 朱家建 朱懿心

吴惠荣 吴仁秀 房世荣 郑桂富 赵祥大

秦士嘉 黄 斌 常立学

委员 99 名:

王平嶂 王永祥 王式正 王成福 王 乔 王俊堂

王继东 尤孺英 孔庆鸿 牛宝林 方沛伦 东鲁红

叶春生 白同朔 伍建国 史旦旦 冯伟国 匡奕珍

华玉弟 华正荣 华雅言 毕明生 朱大刚 朱家建

朱熙然 朱懿心 刘大茂 刘风菊 刘志远 刘伯生

刘 敏 刘德发 江谷传 江林升 李卫芬 李巨光

李立玲 李杰菊 李跃中 杨宏林 杨国诗 陈立德

陈志伟 陈良政 张 劲 张祖芳 肖 军 肖华星

余彤仑 汪祥云 何树民 闵光太 吴仁秀 吴惠荣

林木顺 金 升 周文锦 周奇迹 罗钟鸣 房世荣

房培玉 郑桂富 洪本健 赵祥大 胡大超 胡 刚

姚国强 姚家伦 夏仕平 秦士嘉 顾仲圻 顾志伟

顾国建 陶宝元 陶铁生 徐升华 徐余法 唐育正

曹林根 曹茂华 盛立刚 黄建平 黄 晖 黄 斌

常立学 屠群锋 韩培江 焦庆堂 程宜康 曾文斗

董惠良 虞孟博 詹平华 翟向阳 蒋瑞松 潘立本

潘家俊 薛新华 戴正华

序

发展高等职业技术教育,是实施科教兴国战略、贯彻《高等教育法》与《职业教育法》、实现《中国教育改革与发展纲要》及其《实施意见》所确定的目标和任务的重要环节;也是建立健全职业教育体系、调整高等教育结构的重要举措。

近年来,年青的高等职业教育以自己鲜明的特色,独树一帜,打破了高等教育界传统大学一统天下的局面,在适应现代社会人才的多样化需求、实施高等教育大众化等方面,做出了重大贡献。从而在世界范围内日益受到重视,得到迅速发展。

我国改革开放不久,从1980年开始,在一些经济发展较快的中心城市就先后开办了一批职业大学。1985年,中共中央、国务院在关于教育体制改革的决定中提出,要建立从初级到高级的职业教育体系,并与普通教育相沟通。1996年《中华人民共和国职业教育法》的颁布,从法律上规定了高等职业教育的地位和作用。目前,我国高等职业教育的发展与改革正面临着很好的形势和机遇:职业大学、高等专科学校和成人高校正在积极发展专科层次的高等职业教育;部分民办高校也在试办高等职业教育;一些本科院校也建立了高等职业技术学院,为发展本科层次的高等职业教育进行探索。国家学位委员会1997年会议决定,设立工程硕士、医疗专业硕士、教育专业硕士等学位,并指出,上述学位与工程学硕士、医学科学硕士、教育学硕士等学位是不同类型的同一层次。这就为培养更高层次的一线岗位人才开了先河。

高等职业教育本身具有鲜明的职业特征,这就要求我们在改革课程体系的基础上,认真研究和改革课程教学内容及教学方法,努力加强教材建设。但迄今为止,符合职业特点和要求的教材却似凤毛麟角。由泰州职业技术学院、上海第二工业大学、金陵职业大学、扬州职业大学、彭城职业大学、沙州职业工学院、上海交通高等职业技术学校、上海交大技术学院、上海汽车工业总公司职工大学、江阴职工大学、江南学院、常州职业技术师范学院、苏州职业大学、锡山市职业教育中心、上海商业职业技术学院、福州大学职业技术学院、芜湖职业技术学院、青岛职业技术学院、宁波高等专科学校、上海工程技术大学等70余所院校长期从事高等职业教育、有丰富教学经验的资深教师共同编写的《21世纪高职高专通用教材》,将由上海交通大学出版社陆续向读者朋友推出,这是一件值得庆贺的大好事,在此,我们表示衷心的祝贺。并向参加编写的全体教师表示敬意。

高职教育的教材面广量大,花色品种甚多,是一项浩繁而艰巨的工程,除了高

职院校和出版社的继续努力外,还要靠国家教育部和省(市)教委加强领导,并设立高等职业教育教材基金,以资助教材编写工作,促进高职教育的发展和改革。高职教育以培养一线人才岗位与岗位群能力为中心,理论教学与实践训练并重,二者密切结合。我们在这方面的改革实践还不充分。在肯定现已编写的高职教材所取得的成绩的同时,有关学校和教师要结合各校的实际情况和实训计划,加以灵活运用,并随着教学改革的深入,进行必要的充实、修改,使之日臻完善。

阳春三月,莺歌燕舞,百花齐放,愿我国高等职业教育及其教材建设如春天里的花园,群芳争妍,为我国的经济建设和社会发展作出应有的贡献!

叶春生

2000年4月5日

目 录

第 0 章 绪论	1
第 1 章 数字电路基础	4
1.1 数制和二进制代码	4
1.1.1 二进制数	4
1.1.2 数的其它几种常用进制	5
1.1.3 二进制代码	6
1.2 逻辑代数及其基本运算	8
1.2.1 逻辑变量	8
1.2.2 三种基本逻辑运算	8
1.3 逻辑代数的公式、定律和规则	11
1.3.1 逻辑函数	11
1.3.2 逻辑代数的基本公式	11
1.3.3 三个基本运算规则	13
1.4 逻辑函数及其表示方法	14
1.4.1 逻辑函数的五种表示方法	14
1.4.2 常用的复合逻辑函数	16
1.5 逻辑函数的化简	19
1.5.1 逻辑函数的公式化简法	19
1.5.2 逻辑函数的卡诺图化简法	20
1.6 数字逻辑功能电路	27
1.6.1 概述	27
1.6.2 门电路	27
1.6.3 触发器	29
1.7 Electronics Workbench 的基本使用方法	33
1.7.1 EWB 软件概述	33
1.7.2 EWB 基本使用方法	34
1.7.3 用 EWB 软件对门电路功能验证	46
1.8 常用电子仪器的使用	50
1.8.1 数字逻辑电路实验箱的使用	50
1.8.2 示波器的构成及使用	51
1.8.3 函数信号发生器的构成及使用	54
本章小结	56

思考与练习	56
第 2 章 门电路	59
2.1 晶体管的开关特性	59
2.1.1 二极管的开关特性	59
2.1.2 三极管的开关特性	61
2.1.3 MOS 管的开关特性	63
2.2 分立元件门电路	65
2.2.1 二极管与门	66
2.2.2 二极管或门	67
2.2.3 非门(反相器)	68
2.3 TTL 集成门	70
2.3.1 标准 TTL 与非门	70
2.3.2 数字集成电路型号命名方法	76
2.3.3 常用 LSTTL 集成门	77
2.3.4 特殊结构的 TTL 门电路	78
2.4 CMOS 集成门	82
2.4.1 CMOS 反相器	82
2.4.2 CMOS 与非门和或非门	83
2.4.3 CMOS 传输门和模拟开关	83
2.4.4 其他常用的 CMOS 系列集成电路	84
2.5 数字集成电路的使用	85
2.5.1 数字集成电路的极限参数和规范参数	85
2.5.2 数字集成电路的全温直流参数	86
2.5.3 TTL 与 CMOS 集成门综合特性的比较	87
2.5.4 不同品种的器件之间的互相连接	87
2.5.5 数字集成电路使用注意事项	88
2.6 门电路的实验和实训	89
2.6.1 TTL, CMOS 门电路主要参数测试	89
2.6.2 集成门电路的电平变换与驱动	92
2.6.3 门电路的应用	93
本章小结	94
思考与练习	94
第 3 章 组合逻辑电路	100
3.1 组合逻辑电路的一般分析和设计方法	100
3.1.1 组合逻辑电路的特点及表示方法	100
3.1.2 组合逻辑电路的一般分析方法	100
3.1.3 组合逻辑电路的设计	101

3.1.4 组合逻辑电路中的竞争冒险	102
3.2 常用中规模集成组合逻辑电路	103
3.2.1 编码器	103
3.2.2 译码器	108
3.2.3 显示译码器	113
3.2.4 数据分配器和数据选择器	117
3.2.5 运算器	120
3.3 常用中规模集成组合电路实验与实训	126
3.3.1 常用中规模集成数字电路工程概述	126
3.3.2 常用中规模集成组合电路实验实训基础	127
3.3.3 常用中规模集成组合电路实验实训	129
3.3.4 中规模集成组合电路的综合应用实训	139
本章小结	142
思考与练习	143
第4章 时序逻辑电路	146
4.1 时序逻辑电路概述	146
4.2 触发器	146
4.2.1 触发器的电路结构和工作特点	146
4.2.2 集成电路触发器	159
4.3 寄存器	161
4.3.1 数码寄存器	161
4.3.2 移位寄存器	161
4.4 计数器	164
4.4.1 同步计数器	164
4.4.2 异步计数器	169
4.4.3 集成寄存器和集成计数器	171
4.4.4 标准计数器构成任意进制计数器的方法	172
4.5 时序逻辑电路实验与实训	175
4.5.1 触发器实验与实训	175
4.5.2 常用中规模集成时序电路工程概述	178
4.5.3 常用中规模集成时序电路的实验与实训	178
本章小结	182
思考与练习	182
第5章 脉冲波形的产生与整形	189
5.1 多谐振荡器	189
5.1.1 门电路构成的多谐振荡器	189
5.1.2 555 定时器构成的多谐振荡器	190

5.1.3 石英晶体多谐振荡器	192
5.2 单稳态触发器	194
5.2.1 门电路构成的单稳态触发器	194
5.2.2 555 定时器组成的单稳态触发器	195
5.2.3 集成单稳态触发器	196
5.2.4 单稳态触发器的应用	197
5.3 施密特触发器	199
5.3.1 门电路构成的施密特触发器	200
5.3.2 用 555 定时器构成施密特触发器	201
5.3.3 集成施密特触发器	202
5.3.4 施密特触发器的应用	202
5.4 实验与实训	203
5.4.1 多谐振荡器的仿真与测试	203
5.4.2 555 定时器的应用与仿真	204
5.4.3 延时报警电路的仿真与实现	204
本章小结	205
思考与练习	205
第 6 章 D/A, A/D 转换器	208
6.1 D/A 转换器	208
6.1.1 转换原理和输出方式	208
6.1.2 集成 D/A 转换器	212
6.1.3 D/A 转换器的应用	214
6.2 A/D 转换器	215
6.2.1 并行比较式 A/D 转换器	215
6.2.2 逐次逼近式 A/D 转换器	216
6.2.3 双积分式 A/D 转换器	218
6.2.4 集成 A/D 转换器及其应用	220
6.3 D/A, A/D 实训	224
6.3.1 D/A 转换器的 EWB 仿真	224
6.3.2 A/D 转换器的 EWB 仿真	226
6.3.3 数显表头的安装与调试	227
本章小结	229
思考与练习	229
第 7 章 小型数字系统的设计	231
7.1 数字系统概述	231
7.2 数字系统设计	232
7.2.1 数字系统设计概述	232

7.2.2	现代数字系统设计流程	232
7.2.3	小型数字系统设计过程和实现时应注意的问题	233
7.3	数字频率测量装置设计实例	234
7.3.1	分析设计要求,确定总体方案	235
7.3.2	确定单元电路形式,选择集成电路类型	235
7.3.3	电路逻辑功能的仿真测试	241
7.3.4	安装与调试	242
7.3.5	汇编系统设计文件和写出设计报告	242
	本章小结	242
	思考与练习	242
第 8 章	在系统编程技术与实训	245
8.1	PLD 概述	245
8.1.1	PLD 基本结构	245
8.1.2	PLD 的分类	247
8.1.3	PAL 的结构	249
8.2	PLSI/ispLSI 1016 简介	257
8.2.1	PLSI/ispLSI 1016 的结构和原理	257
8.2.2	PLSI/ispLSI 1016 的主要性能指标	263
8.3	ispLSI 的开发与编程	263
8.3.1	传统的开发与编程技术	263
8.3.2	在系统编程技术	265
8.3.3	ispLSI 的开发过程	267
8.3.4	源文件的编写格式	268
8.4	ISP 实训	270
8.4.1	实训环境	270
8.4.2	ispEXPERT System 基本操作	270
8.4.3	ispEXPERT System 实习题	286
8.4.4	数字锁设计实训	287
	本章小结	288
	思考与练习	288

第 0 章 绪论

0.1 模拟信号和数字信号

数字电子技术和模拟电子技术构成了电子技术的主体。两者的区别,在于它们各自所处理的信号的不同。模拟电子技术处理的信号是模拟信号,而数字电子技术处理的信号是数字信号。

先看一个处理模拟信号的实例,如图 0-1 所示的是电炉箱恒温自动控制系统。

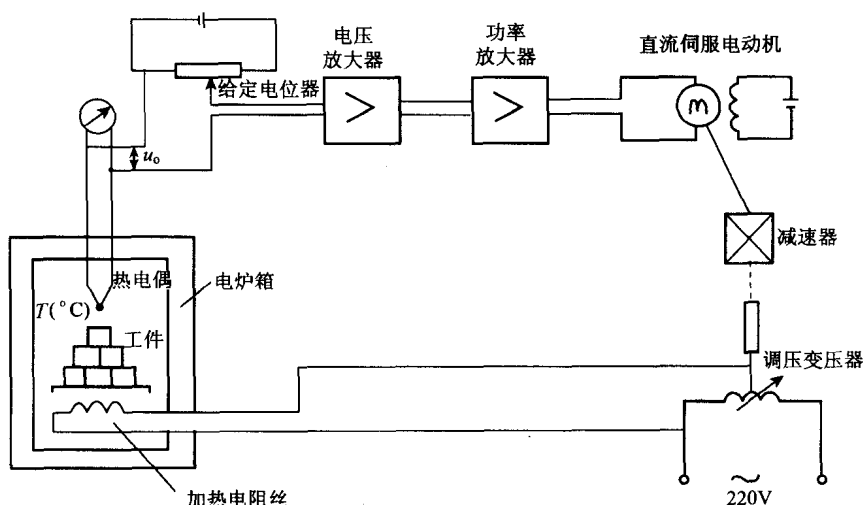


图 0-1 模拟信号实例

它的工作原理大致是:采用热电偶来检测温度,并将炉温转换成电压信号,然后反馈至输入端与给定电压进行比较,将比较的偏差电压作为控制电压,经电压放大器和功率放大器放大后,去驱动直流伺服电动机,电动机经减速器带动调压变压器的滑动触头,来调节炉温。这里被处理的各个量在一定条件下都可看做是模拟量。如热电偶的输出电压 u_o 的大小就反映炉温的高低。设某一段时间内测得的 u_o 信号如图 0-2 坐标图中 $u_o(t)$ 所示。此信号在该时间段中各点的值都与炉箱内的温度相对应,并在一定范围内作连续变化。

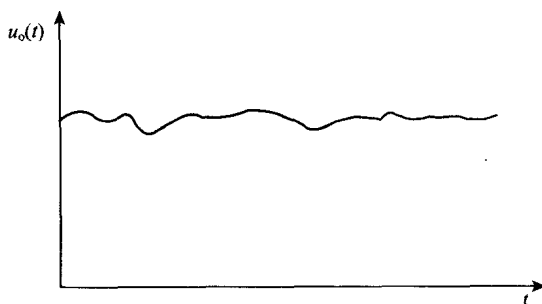


图 0-2 模拟信号实例

因此模拟信号是指在时间上和数值上都是连续变化的信号。处理这类信号时,考虑的是

放大倍数、频率失真、非线性失真、相位失真等因素,着重分析波形的形状、幅度和频率如何变化。

图 0-3 所示的由步进电动机驱动的数控加工机床中的某些环节则是处理和应用数字信号的实例。其工作量原理大致是这样的:它由预先设定的加工程序指令,经过运算控制器,去控制脉冲的产生和分配,发出相应的脉冲,由它(通常还要经过功率放大)驱动步进电动机,通过精密传动机构,再带动(x, y)工作台(或刀具),对工件进行直线或圆弧等的加工。上面提到的程序指令和脉冲就是典型的数字信号。

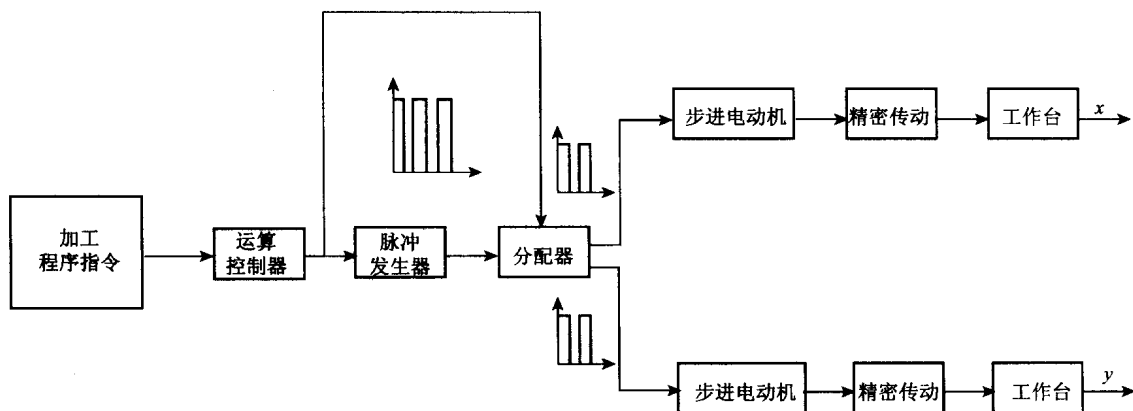


图 0-3 数字信号实例

数字信号是指时间上和数值上都是离散的信号,即其变化在时间上是不连续的。信号所表现的形式是一系列由高、低电平(在数字电子技术中常把电位称之为电平)组成的脉冲波。处理数字信号主要是要能正确区分出信号的高、低电平,并正确反映电路的输出与输入之间关系,而不考虑高、低电平值的精确值为多少。

综上所述,模拟信号和数字信号是性质不同的两种信号,处理这两种信号的电路也不同,分析问题的着眼点显然也不同。

0.2 数字电路及其特点

处理数字信号的电路称为数字电路。数字电路具有与模拟电路所不同的特点。

在数字电路中,它的输出、输入的信号值只有两个:即高电平和低电平,可以把这两种对应状态分别用 1 和 0 来表示。那么,组成 0,1 序列的信号就是脉冲信号。电路中的电子器件(如三极管)的饱和和截止两种状态就对应着 0 和 1,因此,数字电路如门电路、触发器、寄存器、计数器等都是由半导体器件构成的。

分析数字电路侧重于电路的输出与输入 0,1 序列间的逻辑关系,通常这些逻辑关系代表的是电路所具有的逻辑功能,而这些逻辑功能代表着不同的数字信息,从而完成了数字信号的传递和处理任务。

分析数字电路时所用的数学工具是逻辑代数,在反映逻辑功能时用真值表、卡诺图、逻辑函数表达式、特征方程、状态转换图等五种表达方法。

0.3 数字电子技术发展概况

数字电子技术是随着微电子器件的创新而发展的。20 世纪 40 年代半导体器件诞生,以分立元件为主的设计缩小了设备的体积,提高了运算速度。60 年代集成电路问世,将数字电子技术发展推上一个新的台阶,从此一直快速发展。它的抗干扰性能和更高的运算速度一直成为人们追求的目标,小规模和中规模数字集成电路一度成为数字电路中的主要元件,至今还具有较强的生命力。大规模和超大规模数字集成电路主要在计算机技术中使用,是数字电子技术发展的典范。

数字集成电路的品种数不胜数。通用的数字集成电路已经系列化,如 TTL74LS,CMOS4000 系列等。为了适应一些特殊用途,促进电子产品小型化、智能化、高性能化、多功能化和高可靠性,70 年代末期开发了专用集成电路(ASIC——Application Specific Integration Circuit),由于它具有较大的设计灵活性和高性能,越来越得到重视和广泛应用。80 年代迅速发展起来的新型 ASIC——用户可再构造的集成电路系列——PLD(Programmable Logic Device)器件,在数字系统中取代各种通用数字集成电路,具有设计灵活、开发周期短、功能强、体积小、可靠性高、系统成本低等优点,给数字系统设计方法带来了革命性的变化。

第 1 章 数字电路基础

内容提要 本章首先简要介绍数字电路中常见的数制和代码,然后讲解逻辑代数的基本概念、基本公式、常用公式、重要定律和规则,在此基础上着重阐述逻辑函数的表示方法,以及应用公式和卡诺图化简逻辑函数的方法。最后简要介绍数字电路的逻辑功能。

1.1 数制和二进制代码

1.1.1 二进制数

二进制数在数字电路和计算机中经常要用到,因此研究二进制数具有重要意义。

A 二、十进制数

a 十进数

十进制数是最常用的,它有 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,十个数码,在运算中遵循“逢十进一、借一当十”的规则。

设 K 表示十进制数中某一数码, N 表示十进制基数 10, i 表示数的某一位, n 表示小数点左面的位数, m 表示小数点右面的位数,则任意十进制数可用下式表示:

$$\begin{aligned} S &= K_{n-1}N^{n-1} + K_{n-2}N^{n-2} + \cdots + K_0N^0 + K_{-1}N^{-1} + \cdots + K_{-m}N^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} K_i N^i. \end{aligned} \quad (1-1)$$

例如通过观察十进制数 1 234.56 可以写成:

$$1234.56 = 1 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}。$$

以上不难看出,某位数码所代表的数值是 i 位上的数码乘以 10^i 的结果。这里 10^i 叫做第 i 位的位权。

b 二进制数

二进制数的数码为 0 和 1,基数为 2,运算规律是“逢二进一、借一当二”。二进制数中第 i 位的位权就是 2 的 i 次幂即 2^i 。二进制数也是按位计数的,同样可以用式(1-1)表示。例如二进制数 1010.10 可表示为

$$1010.10 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2}。$$

B 二、十进制数的相互转换

a 二进制数转换成十进制数

任何二进制数,只要按权位展开然后相加便可得到相应的十进制数。

例如:

$$[1011]_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$