

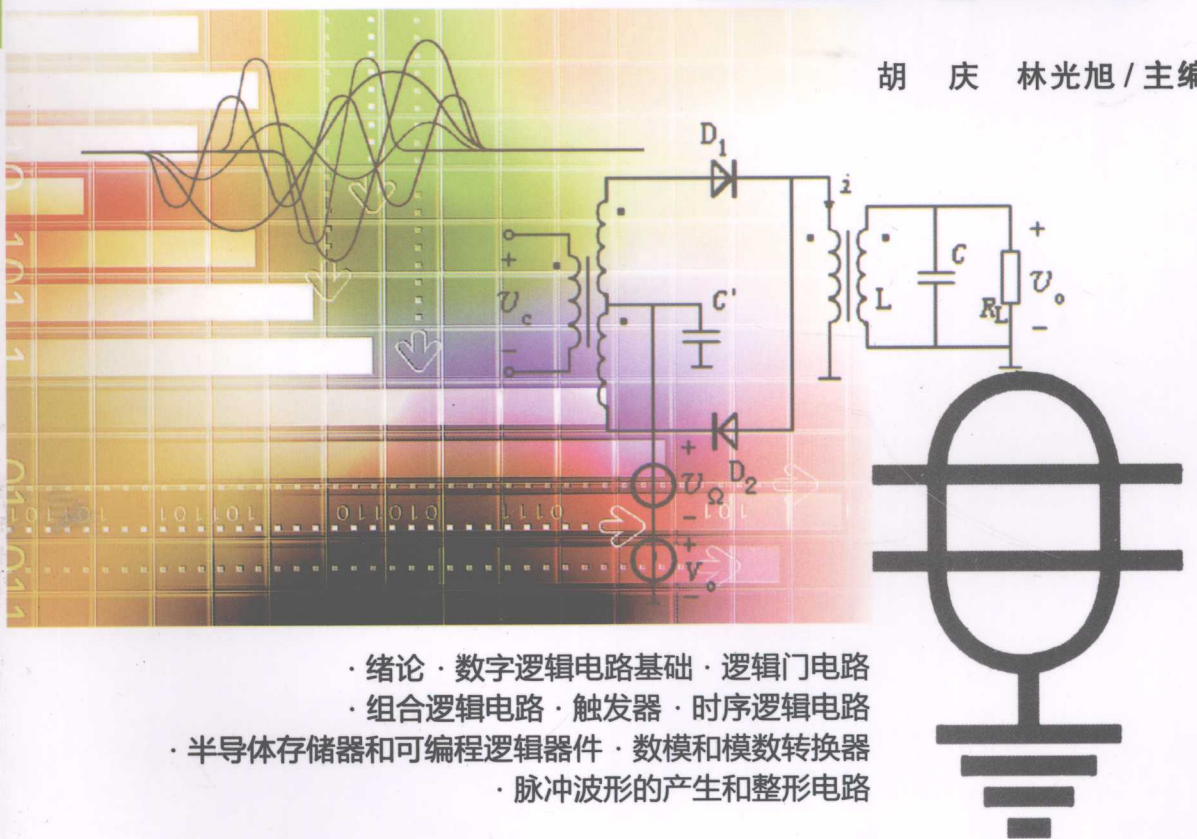
全国职业教育通用教材  
机械制造与电子技术专业

Quanguozhiyejiaoyutongyongjiaocai  
JIXIEZHIZAOYUDIANZIJISHUZHUYAN

# 数字电路 基础

SHUZIDIANLU  
JICHU

胡庆 林光旭 / 主编



- 绪论 · 数字逻辑电路基础 · 逻辑门电路
- 组合逻辑电路 · 触发器 · 时序逻辑电路
- 半导体存储器和可编程逻辑器件 · 数模和模数转换器
- 脉冲波形的产生和整形电路



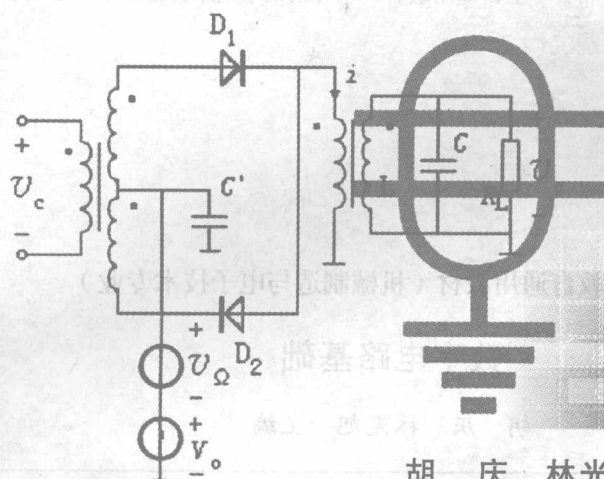
电子科技大学出版社

全国职业教育通用教材  
机械制造与电子技术专业

Quanguozhiyejiaoyutongyongjiaocai  
JIXIEZHIZHAOYUDIANZIJISHUZHUYANYE

# 数字电路基础

## SHUZIDIANLU JICHU



胡庆 林光旭 / 主编



电子科技大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数字电路基础/胡庆, 林光旭主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2009.1

全国职业教育通用教材 (机械制造与电子技术专业)

ISBN 978-7-81114-996-8

I. 数… II. ①胡… ②林… III. 数字电路—高等学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第145579 号

## 内 容 提 要

本书主要包括逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路的分析和设计、触发器与时序逻辑电路、存储器与可编程逻辑器件、脉冲波形的产生和整形电路、A/D 和 D/A 转换器等内容。

本书可以作为中等职业学校、中等专科学校、高等职业学校、高等专科学校、普通高等院校、成人高校以及民办高校相关专业的通用教材, 也可供从事电子信息工程、自动化工程、电气工程的技术人员作为参考用书。

## 全国职业教育通用教材 (机械制造与电子技术专业)

# 数字电路基础

胡 庆 林光旭 主编

---

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

责任编辑: 张 鹏

主 页: [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

电子邮箱: [uestcp@uestcp.com.cn](mailto:uestcp@uestcp.com.cn)

发 行: 新华书店经销

印 刷: 四川省南方印务有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 15 字数 360 千字

版 次: 2009 年 1 月第一版

印 次: 2009 年 1 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-81114-996-8

定 价: 22.00 元

---

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

# 总 导 言

进入 21 世纪以来,机械制造与电子信息技术更为广泛和深入地应用于人们日常的生活、学习、工作,乃至休闲和娱乐中,电子与信息产品和电视、冰箱、空调、电脑、手机、DVD、MP3、MP4 等比比皆是。

由电子与信息技术产品形成的信息产业,已经成为我国国民经济的支柱产业,其工业增长率每年以 30% 以上的速度递增,工业总产值已经占全国工业总产值的 40% 以上,个别行业甚至高达 60%。

随着产业的发展,必然带来人才需求的增长,而技术的进步又必然要求人员素质的提高。从总体上来说,机械制造技术与电子技术是一门高技术产业,且对人才的需求具有明显的两极特点,一方面需要具有高学历的开发、研究、创造性人才。但同时更多地、更为广泛地需要在机械制造与电子信息产品的整机生产、装配、调试、维修和检验等各个工种,以及通信网络的安装、管理、使用、维护工作甚至专业性的采购和市场营销等领域的“蓝领”人才。所谓“蓝领”人才,是具有高职、中职学历的具有综合职业能力的实用性、复合型人才。

为了满足我国高速经济发展的需要,成千上万的生产企业和经营单位渴求人才,在教育部《面向 21 世纪教育振兴行动计划》的指导下,为贯彻落实《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》,并以“面向 21 世纪职业教育课程改革和教材建设规划”为指南,我们汇集了电子信息技术与机械制造教育一线从教的优秀教师,由有关电子与信息技术专家、教授领衔,组成了阵容强大的“教材编写组”,及时地推出了职业教育“机械制造与电子技术专业”最新版的专业教材。首批面市的有:《**电工基础**》《**数字电路基础**》《**电工技能与实训**》《**电子技能与实训**》《**机械基础**》《**机械制图**》等。接着还将推出《**电子整机原理**》《**电子设计自动化技术**》《**单片机原理与应用**》《**电子产品测试与检测**》《**电子产品结构工艺**》《**移动通信设备**》《**电子测量仪器**》等更多层次的教材。

在职业技术教育中,教材占有至关重要的地位,它将起到先进课程体系、教学经验以及新知识、新技术、新工艺的传播和推广作用。本系列教材立足于电子信息技术与机械制造技术的专业特点,准确定位于中、初级人才职业技能和综合能力的培养。在教材的编写中,凸显了理论与实践的高度统一与综合,并充分地为理论教学与实践教学的交叉进行提供了接口,真正做到在理论的指导下进行有效的实践,又在实践中高效地掌握理论,使教与学、理论与实践完美结合。

但是,电子信息与机械制造技术也属于“现代科技”的范畴,其学科的内在机理蕴涵着无穷的奥妙,作为职业学校的教材,没有必要去探究电子信息技术与机械制造中的繁难问题,然而,如何把握教材的深度和难度,又往往成为教材编写中十分棘手的问题。本系列教材应用全新的“教材理念”,本着“够用即止”“深入有度”的取材原则,把教材中必需的知识“重点”“难点”乃至“盲点”进行了有效的整合,不仅使知识基础全面、系统、完整,而且

强化了各类电子信息与机械制造的“共性”与“个性”，从而使每种教材既符合“职业学校重点建设专业教学指导方案”的要求，又紧扣该专业教学大纲的内容，使全套教材光鲜、生动、流畅。

纵观本套教材，具有如下的特点和亮点：

**一、突出特点，统一共性。**本系列教材以知识基础为主线，深刻地阐述和剖析基础知识原理，然后再搭建各类整机（产品）的平台，把抽象变为直观，把散乱变为物化。使读者只要牢固地掌握了基础知识，即使在日后的工作实践中遇到种类繁多、千姿百态的整机（产品），也能自然地应对。

**二、以实践为主，理论跟进。**电子信息与机械制造技术专业是实践性极强的专业，在教材中必须体现实践→理论→再实践的高度融合。

**三、举一反三，知识翻新。**本系列教材在知识体系中，常常采用举一反三、触类旁通的方法去开启新技术的大门，并使技术的发展和延伸浑然一体，使读者在吸收现代技术的同时，触及将来技术应用的发展方向，可以说这是本系列教材的一大亮点。

**四、语言流畅完美。**图书或教材，即便是科技类图书、教材，依然是要使读者和学生们真情地去阅读和学习。因此，图书或者教材的可读性，往往成为读者是否首选该图书或教材的第一性问题。当读者翻开图书或教材时，第一感觉必然是跃然纸上的文字、插图，如果书中的语言流畅完美，插图规范、翔实、易读，自然会给读者一个赏心悦目的快感，引起购书的冲动。

教材或者图书虽然是特殊的商品，但毕竟是“商品”，任何商品最终都要接受市场的检验，出版者将企盼着千百万读者的回应。

**职业教育教材编写委员会**

# 前 言

数字电子技术是当前发展最快的学科之一，数字电路的设计过程和方法也在不断地发展和完善。由于半导体技术的迅速发展、微型计算机的广泛应用，数字电子技术在现代科学技术领域中占有很重要的地位，应用也更加广泛。

“数字电路基础”是电子信息工程、自动化、通信、测控技术与仪器等专业共有的一门重要学科基础课，是一门实践性、应用性很强的课程。通过系统的学习可以使学生熟悉数字电路的基础理论知识，理解基本数字逻辑电路的工作原理，掌握数字逻辑电路的基本分析和设计方法，具有应用数字逻辑电路初步解决数字逻辑问题的能力，为以后学习微机原理、单片机原理等后续课程以及从事数字电子技术领域的工作打下坚实的基础。

本书共有八章。书中提供了大量针对性较强的复习思考题，每章后都有内容小结及习题，便于读者复习及检查学习效果。同时，为了加强动手训练，可以配合本系列教材《电子技能与实训》（数字电路部分）使用。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免会有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

绪论.....	1
第一章 数字逻辑电路基础.....	4
1.1 数制和码制.....	4
1.1.1 数制.....	4
1.1.2 数制间的转换.....	5
1.1.3 码制.....	7
1.2 基本逻辑运算.....	10
1.2.1 基本概念.....	10
1.2.2 基本逻辑运算.....	11
1.2.3 复合逻辑运算.....	13
1.3 逻辑代数的基本规则.....	13
1.3.1 基本定律和恒等式.....	13
1.3.2 基本规则.....	15
1.4 逻辑函数及其表示方法.....	16
1.4.1 逻辑函数.....	16
1.4.2 逻辑函数的表示方法.....	17
1.4.3 各种表示方法之间的转换.....	21
1.5 逻辑函数的化简.....	23
1.5.1 逻辑函数的最简形式.....	23
1.5.2 逻辑函数的代数化简法.....	24
1.5.3 逻辑函数的卡诺图化简法.....	25
1.5.4 具有无关项的逻辑函数的化简.....	27
本章小结.....	27
复习思考题.....	28
习题一.....	28
第二章 逻辑门电路.....	31
2.1 概述.....	31

2.2	半导体器件的开关特性.....	32
2.2.1	二极管的开关特性.....	32
2.2.2	三极管的开关特性.....	33
2.2.3	MOS管的开关特性.....	35
2.3	分立元件逻辑门电路.....	35
2.3.1	二极管门电路.....	35
2.3.2	三极管非门电路.....	37
2.3.3	复合逻辑门电路.....	38
2.4	TTL集成门电路.....	39
2.4.1	TTL与非门.....	39
2.4.2	改进型TTL与非门.....	45
2.4.3	其他类型的TTL门电路.....	46
2.5	MOS集成门电路.....	50
2.5.1	NMOS门电路.....	50
2.5.2	CMOS门电路.....	51
2.5.3	使用集成电路时的注意事项.....	54
2.5.4	各种集成门电路性能比较.....	55
2.6	TTL与CMOS间的接口电路.....	55
	本章小结.....	57
	复习思考题.....	57
	习题二.....	58
<b>第三章</b>	<b>组合逻辑电路.....</b>	<b>62</b>
3.1	组合逻辑电路及其分析方法.....	62
3.1.1	组合逻辑电路的基本概念.....	62
3.1.2	组合逻辑电路的分析方法.....	63
3.2	组合逻辑电路的设计方法.....	64
3.3	常用的组合逻辑电路.....	66
3.3.1	加法器.....	66
3.3.2	编码器.....	70
3.3.3	译码器.....	75
3.3.4	数据选择器.....	84
3.3.5	数值比较器.....	86
3.4	组合逻辑电路中的竞争冒险现象.....	90



---

本章小结.....	91
复习思考题.....	91
习题三.....	91
<b>第四章 触发器 .....</b>	<b>95</b>
4.1 概述.....	95
4.2 不同电路结构的触发器.....	96
4.2.1 基本 RS 触发器 .....	96
4.2.2 同步 RS 触发器 .....	99
4.2.3 主从触发器 .....	101
4.2.4 边沿触发器 .....	107
4.3 各种逻辑功能的触发器.....	112
4.3.1 RS 触发器 .....	113
4.3.2 JK 触发器.....	113
4.3.3 T 触发器和 T' 触发器 .....	114
4.3.4 D 触发器 .....	115
4.3.5 触发器逻辑功能的转换 .....	115
本章小结.....	117
复习思考题.....	118
习题四.....	118
<b>第五章 时序逻辑电路 .....</b>	<b>122</b>
5.1 时序电路及其分析方法.....	122
5.1.1 概述 .....	122
5.1.2 时序电路的分析方法 .....	123
5.2 常用时序逻辑功能器件.....	127
5.2.1 寄存器 .....	128
5.2.2 计数器 .....	132
5.3 时序逻辑电路的设计方法.....	148
本章小结.....	154
复习思考题.....	154
习题五.....	155
<b>第六章 半导体存储器和可编程逻辑器件.....</b>	<b>160</b>
6.1 只读存储器 (ROM) .....	160

6.1.1	概述	160
6.1.2	固定只读存储器	160
6.1.3	可编程只读存储器	161
6.1.4	可擦可编程只读存储器	161
6.1.5	闪速存储器	162
6.1.5	利用只读存储器实现组合逻辑函数	163
6.2	随机存储器	165
6.2.1	概述	165
6.2.2	静态 RAM	165
6.2.3	动态 RAM	167
6.2.4	随机存储器的扩展	168
6.3	可编程逻辑器件 (PLD)	171
6.3.1	概述	171
6.3.2	可编程阵列逻辑 (PAL)	172
6.3.3	通用阵列逻辑 (GAL)	175
6.3.4	复杂可编程逻辑器件 (CPLD)	177
6.3.5	现场可编程门阵列 (FPGA)	177
	本章小结	178
	复习思考题	178
	习题六	178
<b>第七章</b>	<b>数模和模数转换器</b>	<b>181</b>
7.1	概述	181
7.2	D/A 转换器	182
7.2.1	权电阻网络 D/A 转换器	182
7.2.2	倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	183
7.2.3	权电流 D/A 转换器	185
7.2.4	集成 D/A 转换器	185
7.2.5	D/A 转换器的技术参数	187
7.3	A/D 转换器	187
7.3.1	A/D 转换的一般步骤	187
7.3.2	直接 A/D 转换器	189
7.3.3	间接 A/D 转换器	193
7.3.4	A/D 转换器的技术参数	195

---

本章小结.....	195
复习思考题.....	196
习题七.....	196
<b>第八章 脉冲波形的产生和整形电路.....</b>	<b>199</b>
8.1 概述.....	199
8.2 多谐振荡器.....	200
8.2.1 由门电路组成的多谐振荡器.....	200
8.2.2 环型多谐振荡器.....	202
8.2.3 石英晶体振荡器.....	203
8.3 单稳态触发器.....	204
8.3.1 用门电路组成的单稳态触发器.....	204
8.3.2 集成单稳态触发器.....	208
8.3.3 单稳态触发器的应用.....	209
8.4 施密特触发器.....	211
8.4.1 用门电路组成的施密特触发器.....	211
8.4.2 集成施密特触发器.....	212
8.4.3 施密特触发器的应用.....	214
8.5 555 定时器及其应用.....	215
8.5.1 555 定时器 (555 Timer).....	215
8.5.2 555 定时器的应用.....	217
本章小结.....	220
复习思考题.....	221
习题八.....	221
<b>部分习题答案.....</b>	<b>224</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>228</b>

# 绪 论

## 1. 数字信号与模拟信号

自然界的物理量形形色色，按其变化规律可分为两大类：模拟信号和数字信号。模拟信号是指在时间上和数值上都是连续变化的信号，如温度、压力、速度、磁场、电场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；另一类在时间和幅度上都是离散的信号，称为数字信号，如由计算机键盘输入计算机的信号等。

## 2. 数字电路与模拟电路

电子电路按处理信号的不同可以分为模拟电路和数字电路。对模拟信号进行传输、处理的电子线路称为模拟电路，如放大器、滤波器、信号发生器等。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电路，如数字钟、数字万用表等都是由数字电路组成的。二者在结构、工作状态、研究内容和分析方法等方面既有相似之处，也有区别，如表 1 所示。

表 1 数字电路与模拟电路的比较

		数字电路	模拟电路
工作信号		数字信号 (时间、数值上都是离散变化的)	模拟信号 (时间、数值上都是连续变化的)
研究对象		输出与输入之间的逻辑关系	输出与输入在大小、相位等方面的关系
晶体管	工作状态	工作在截止区或饱和区	工作在放大区
	作用	作为开关元件	作为放大元件
主要分析方法		逻辑代数、真值表、卡诺图等	图解法、微变等效电路法等
基本单元电路		逻辑门电路、触发器等	基本放大电路、运算放大电路等

## 3. 数字电路的特点

由于数字电路处理的是离散的数字信号，所以具有如下特点：

(1) 数字电路是利用电路状态反映数字信号状态的，如开关的通与断，灯泡的亮与灭等。因此，常用二进制数码 1 和 0 来表示信号的两种状态，反映在电路上则是高电平和低电平两种状态。

(2) 电路上的高电平和低电平两种状态是由电路中的核心器件晶体管的工作状态决定。晶体管工作在饱和区或截止区，即开关状态，所以数字电路常被称为开关电路。

(3) 因为数字信号中的 1 和 0 没有任何数量的含义，只表示两种不同的状态。所以在数字电路的基本单元电路中，对元件的精度要求不高，允许有较大的误差，电路在工作时只要能可靠地区分 1 和 0 两种状态就可以了。

(4) 对于数字电路,人们关心和研究的主要问题是输入信号的状态与输出信号的状态之间的逻辑关系。

(5) 分析数字电路的主要工具是逻辑代数,研究方法主要是逻辑分析和逻辑设计,描述电路逻辑功能的主要方法是逻辑真值表、逻辑表达式、卡诺图、波形图等。

(6) 数字电路不仅具有普通的算术运算功能,更重要的是具有逻辑运算功能,即具有“逻辑思维”和“记忆”能力,所以数字电路又称为逻辑电路。

(7) 数字电路具有速度快、精度高、抗干扰能力强、易于集成等优点,已广泛应用于数控装置、数字测量、数字通讯及数字计算机等领域。

#### 4. 数字电路的分类

最基本的数字电路是由二极管、三极管、电阻、电容等电子元器件组成。与模拟电路一样,数字电路的发展也经历了由电子管、半导体分立器件到集成电路的过程。根据电路结构的不同,数字电路可以分为分立元件电路和集成电路两大类。分立元件电路是将晶体管、电阻、电容等元器件用导线在线路板上连接起来的电路;集成电路则是将上述元器件和导线通过半导体制造工艺做在一块硅片上成为一个不可分割的整体电路。数字电路比模拟电路更容易高密度集成。

根据集成的密度不同,数字集成电路的分类如表 2 所示。

表 2 数字集成电路分类

集成电路分类	集成度	电路规模与范围
小规模集成电路 SSI	1~10 门/片或 10~100 个元件/片	逻辑单元电路 它包括:逻辑门电路、集成触发器
中规模集成电路 MSI	10~100 门/片或 100~1000 个元件/片	逻辑部件 它包括:计数器、译码器、编码器、数据选择器、寄存器、算术运算器、比较器、转换电路等
大规模集成电路 LSI	100~1000 门/片或 1000~100000 个元件/片	数字逻辑系统 它包括:中央控制器、存储器、各种接口电路等
超大规模集成电路 VLSI	大于 1000 门/片 或大于 10 万个元件/片	高集成度的数字逻辑系统 例如:各种型号的单片机,即在一块硅片上集成一个完整的微型计算机

从应用的角度可以分为通用型和专用型两大类。通用型是指已被定型的产品,适用于不同的数字设备;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功能块型产品,只适用于专用的数字设备。

根据所用器件制作工艺的不同,数字电路又可以分为双极型电路和单极型电路。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。

#### 5. 数字逻辑电路的研究方法

逻辑代数是分析的主要工具,适用于小规模集成电路。要提高产品的性价比就要尽量使

一个电路中的逻辑门、触发器、连线数目能够最少。但是，一个最简单的方案不等于一个最佳的方案。所以，在传统方法求出一个实现预定功能的最简结构之后，往往要根据实际情况进行调整。

随着中、大规模集成电路的不断发展，使芯片内部容纳的逻辑器件越来越多，增加逻辑门和触发器给生产成本带来的影响却越来越小。有效利用各种廉价的中、大规模集成组件去构造满足各种功能的经济合理的电路，用灵活多变的方法完成各类电路或功能模块的设计已经成为一种潮流。同时，各类可编程逻辑器件（PLD）的出现，给逻辑设计带来了一种全新的方法。人们不再用常规硬线连接的方法去构造电路，而是借助丰富的计算机软件对器件进行编程烧录来实现各种逻辑功能，给逻辑设计带来了极大的方便。

## 6. 数字电路举例

下面以数字频率计为例，简单介绍数字电路的结构及工作原理。

如图 1 所示表示一个数字频率计的方框图，它是用来测量周期信号频率的。如果一个被测正弦信号频率为  $f_x$ ，可以由数字频率计直接测出其值。首先，被测信号通过放大和整形电路使被测信号由正弦信号变为矩形脉冲信号，再送入门电路。而门电路由秒脉冲信号发生器控制其开通和关断时间。秒脉冲把门打开一秒钟，这段时间内矩形脉冲通过门电路进入计数器，计数器累计的信号个数就是被测信号在一秒钟内重复的次数，即信号频率  $f_x$ 。最后通过译码、显示电路直接用数字形式显示出来。一般数字电路由信号的放大与整形、脉冲信号的产生、控制以及计数、显示等典型的数字单元电路组成。可见，数字电路包含的内容是很广泛的。

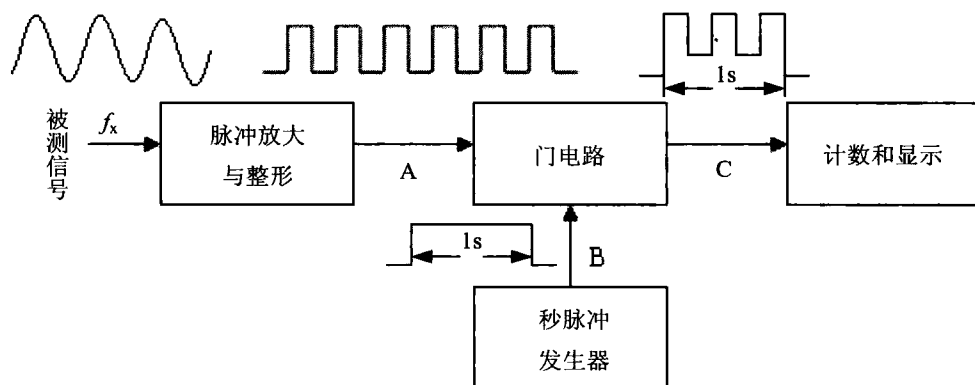


图 1 数字频率计的方框图

## 复习思考题

1. 什么是数字信号？什么是模拟信号？试举例说明。
2. 试从工作信号、核心器件工作状态、研究方法等方面总结数字电路和模拟电路的主要区别。
3. 数字电路有什么特点？
4. 试总结数字电路的主要分类情况。

# 第一章 数字逻辑电路基础

## 【内容提要】

逻辑代数是英国数学家乔治·布尔 (George Bool) 提出的理论, 是一种把事物的逻辑关系用数学公式表示出来的方法, 也称布尔代数。在逻辑代数中, 事物的状态均可用二进制数 0 和 1 来代表, 其基本运算有逻辑与 (AND)、或 (OR)、非 (NOT)。逻辑代数已成为分析和设计数字电路的数学工具, 是学习数字电路的基础。本章首先介绍数字电路中几种常见的数制和码制; 然后介绍逻辑代数的基本概念、公式和定理; 重点介绍了逻辑函数的几种表示方法及其相互转换以及逻辑函数的化简方法。

## 1.1 数制和码制

### 1.1.1 数制

计数进位的规则称为计数体制, 简称数制。在日常生活中多用十进制; 在数字电路中, 常用二进制、八进制和十六进制。

#### 一、十进制 (Decimal)

十进制是以 10 为基数的计数进制。十进制数中, 每一位可取 0~9 十个数码之一, 计数规则为“逢十进一”。一个具有  $n$  位整数和  $m$  位小数的十进制数, 可以记为  $(D)_D$ , 下标  $D$  表示括号中的  $D$  为十进制数。可用以下一般表达式表示:

$$(D)_D = d_{n-1} \times 10^{n-1} + \dots + d_1 \times 10^1 + d_0 \times 10^0 + d_{-1} \times 10^{-1} + \dots + d_{-m} \times 10^{-m} \quad (1.1.1)$$

简单表示为

$$(D)_D = \sum_{i=-m}^{n-1} d_i 10^i \quad (1.1.2)$$

例如, 333.33 可以表示成下列多项式

$$(333.33)_D = 3 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2}$$

式中,  $10^2$ 、 $10^1$ 、 $10^0$  为整数部分的权,  $10^{-1}$ 、 $10^{-2}$  为小数部分的权, 它们都是基数 10 的幂。数码与权的乘积称为加权系数, 如  $3 \times 10^2$ 。因此, 十进制的数值为各加权系数之和。

#### 二、二进制 (Binary)

二进制数是以 2 为基数的计数进制。在二进制中, 每一位二进制数有 0、1 两个不同的数码, 计数规则为“逢二进一”, 各位的权为 2 的幂。任一个具有  $n$  位整数和  $m$  位小数的二进制无符号数可按权展开为:

$$(D)_B = (d_{n-1}d_{n-2}\dots d_1d_0d_{-1}d_{-2}\dots d_{-m})_B = \sum_{i=-m}^{n-1} d_i 2^i \quad (1.1.3)$$

比如，二进制数  $(1111.11)_B$  可以表示为

$$(1111.11)_B = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (15.75)_D$$

式中， $2^3$ 、 $2^2$ 、 $2^1$ 、 $2^0$ 、 $2^{-1}$ 、 $2^{-2}$  分别为二进制各位的权。因此，二进制数的各加权系数之和就是其对应的十进制数。

由于二进制数计数规则简单，且与电子器件的开关状态对应。因而在数字系统中获得广泛应用。

### 三、八进制 (octal)

八进制数是以 8 为基数的计数进制。在八进制中，每一位八进制数有 0~7 共 8 个不同的数码，计数规则为“逢八进一”，各位的权为 8 的幂。任一个具有  $n$  位整数和  $m$  位小数的八进制无符号数可按权展开为

$$(D)_O = \sum_{i=-m}^{n-1} d_i 8^i \quad (1.1.4)$$

如八进制数  $(1234.56)_O$  可以表示为：

$$(1234.56)_O = 1 \times 8^3 + 2 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 4 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} + 6 \times 8^{-2} = (668.71875)_D$$

式中， $8^3$ 、 $8^2$ 、 $8^1$ 、 $8^0$ 、 $8^{-1}$ 、 $8^{-2}$  分别为八进制各位的权。因此，八进制数的各加权系数之和就是其对应的十进制数。

### 四、十六进制 (Hexadecimal)

用二进制表示一个比较大的数时，位数较长且不易读写，因而在数字系统和计算机中，常将其改为  $2^i$  进制来表达，其中最常用的是十六进制（即  $2^4$ ）。十六进制是以 16 为基数的计数进制。在十六进制中，每一位十六进制数有 0~9 和 A~F 共 16 个不同的数码，计数规则是“逢十六进一”，它的基数为 16，各位的权为 16 的幂。任一个具有  $n$  位整数和  $m$  位小数的十六进制无符号数可以按权展开为

$$(D)_H = \sum_{i=-m}^{n-1} d_i 16^i \quad (1.1.5)$$

如十六进制数  $(21BC.5F)_H$  可表示为

$$(21BC.5F)_H = 2 \times 16^3 + 1 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 14 \times 16^0 + 5 \times 16^{-1} + 14 \times 16^{-2} = (700.3671875)_D$$

式中， $16^3$ 、 $16^2$ 、 $16^1$ 、 $16^0$ 、 $16^{-1}$ 、 $16^{-2}$  分别为十六进制各位的权。因此，十六进制数的各加权系数之和就是其对应的十进制数。

#### 1.1.2 数制间的转换

数字电路主要使用二进制、八进制、十六进制计数，而人们习惯于十进制计数。因此，在人机交换时需要利用进制之间的相互转换。



表 1.1.1 常用数制对照表

常用进制	英文表示符号	数码符号	进位规律	进位基数	位权
二进制	B	0、1	逢二进一	2	$2^i$
八进制	O	0、1、2、3、4、 5、6、7	逢八进一	8	$8^i$
十进制	D	0、1、2、3、4、 5、6、7、8、9	逢十进一	10	$10^i$
十六进制	H	0、1、2、3、4、 5、6、7、8、9、 A、B、C、D、 E、F	逢十六进一	16	$16^i$

一、各种数制转换成十进制

二进制、八进制、十六进制转换成十进制时，只要将它们按权展开，求出各加权系数的和，便可以得到相应进制数对应的十进制数。

例 1.1.1 把二进制数 10110.101 转换成十进制数。

解 按权展开

$$\begin{aligned} (10110.101)_B &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= (22.625)_D \end{aligned}$$

二、十进制转换成各种进制

十进制数分为整数部分和小数部分，因此，需要将整数和小数部分分别进行转换，再将转换结果排列在一起。若将十进制数转换成  $N$  进制数，整数部分连续用  $N$  去除，直至商为零为止，再把余数由低位到高位依次排列（即逆序排列）；小数部分则连续用  $N$  去乘，取每次乘积的整数部分，然后将这些整数部分按照从高位到低位的顺序依次排列（即顺序排列）。下面举例说明。

例 1.1.2 把十进制数 157.375 转换成二进制数。

解 整数部分：除  $N$  取余，逆序排列

小数部分：乘  $N$  取整，顺序排列

$$\begin{array}{r} 2 \overline{)157} \quad \dots\dots 1 \\ 2 \overline{)78} \quad \dots\dots 0 \\ 2 \overline{)39} \quad \dots\dots 1 \\ 2 \overline{)19} \quad \dots\dots 1 \\ 2 \overline{)9} \quad \dots\dots 1 \\ 2 \overline{)4} \quad \dots\dots 1 \\ 2 \overline{)2} \quad \dots\dots 0 \\ 2 \overline{)1} \quad \dots\dots 0 \\ 0 \quad \dots\dots 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0.375 \\ \times \quad 2 \\ \hline 0.75 \quad \dots\dots 0 \\ \times \quad 2 \\ \hline 1.5 \quad \dots\dots 1 \\ \times \quad 2 \\ \hline 1.0 \quad \dots\dots 1 \end{array}$$

$$(157.375)_D = (10011101.011)_B$$