

21 世纪高职高专电子与信息类专业系列教材



SHUZI DIANZI JISHU JICHU

数字电子技术基础

主 编 黄 洁

主 审 尹立贤

华中科技大学出版社
<http://press.hust.edu.cn>

21 世纪高职高专电子与信息类专业系列教材

数字电子技术基础

主 编 黄 洁
副主编 王明洋 夏晓玲
参 编 陈 衡 余峰浩
主 审 尹立贤

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/黄洁 主编
武汉:华中科技大学出版社,2004年6月
ISBN 7-5609-3158-8

- I. 数…
II. ①黄… ②王… ③夏…
III. 数字电路-电子技术-高等学校-教材
IV. TN79

数字电子技术基础

黄洁 主编

策划编辑:谢燕群

责任编辑:叶见欣

责任校对:刘飞

封面设计:潘群

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:华中科技大学惠友文印中心

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×960 1/16

印张:14

字数:256 000

版次:2004年6月第1版

印次:2006年12月第3次印刷

定价:18.80元

ISBN 7-5609-3158-8/TN·81

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是 21 世纪高职高专电子与信息类专业系列教材之一。全书共分 8 章,包括数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、数/模与模/数转换、大规模数字集成电路、典型数字电路实例等内容。各章均有习题。

本书以高职教育为特点,以理论为够用、着眼应用的观点,通过实例引入、不断拓宽思路的方法介绍数字电子技术基本知识和基本应用。本书可作为电子与信息类专业高职高专教材,也可供电大、职大相关专业作教材用。

21 世纪高职高专电子与信息类专业 系列教材编委会

主 任 谢自美(华中科技大学电子与信息工程学院教授)

委 员 (以姓氏笔画为序)

尹立贤(湖南信息职业技术学院信息工程系主任)

刘小芹(武汉职业技术学院副院长)

刘继清(武汉船舶职业技术学院电气与信息工程系主任)

刘晓魁(湖南生物机电职业技术学院计算机信息工程系主任)

李绍唐(湖南科技职业学院院长)

姚建永(武汉职业技术学院电子信息工程系主任)

黄新民(湖南信息职业技术学院副院长)

韩卫宏(武汉市仪表电子学校副校长)

熊 绪(武汉船舶职业技术学院教务处处长)

前 言

本教材是高职高专电子与信息类专业教材。

作为高职高专教材,本书十分注重数字电子技术在实际中的应用,力求将高等性和职业化有机结合,加强基础,强调应用。本书与普通高等教育教材的重要区别是只关注各种数字电路器件的外部特点,通过各种应用实例熟悉器件在数字电子系统中的具体应用,而对器件的内部结构与电路原理不做太多阐述。通过各种实例学会使用构成各种电路的常用数字器件,是本教材教学的首要目标;应用实例则是每章的重要内容。本教材最后一章给出了一个典型数字电路,让读者对数字电路有一个全面的认识。

本教材紧密结合高职高专教育特点,突出应用性、针对性。在内容叙述上力求深入浅出,通俗易懂;将知识点与能力点有机结合,注重学生实际能力的培养。

本教材可作为高职高专、职业技术学院电子信息类专业的教材,也可作为大专函授、电子技术培训班的教材,还适合于开有《数字电子技术基础》课程的其他专业学生使用。

本书由武汉职业技术学院黄洁副教授担任主编,由湖南信息职业技术学院尹立贤副教授担任主审。第1章、第3章、第5章、第6章由武汉职业技术学院黄洁编写,第2章由武汉船舶职业技术学院王明洋编写,第7章、第8章由武汉职业技术学院陈衡编写,第4章由武汉船舶职业技术学院余峰浩编写。

由于时间紧迫和囿于编者水平,书中的错误和不妥之处敬请读者批评指正。

编 者

2004年6月

目 录

第 1 章 数字逻辑基础	(1)
1.1 数字信号及数字电路的基本概念	(1)
1.1.1 数字信号	(1)
1.1.2 数制与数制的转换	(1)
1.2 逻辑代数基础	(4)
1.2.1 逻辑关系	(4)
1.2.2 三种基本逻辑函数	(5)
1.2.3 复合逻辑函数	(7)
1.2.4 逻辑代数	(7)
1.2.5 逻辑函数的表示方法	(9)
1.3 逻辑函数的化简	(10)
1.3.1 逻辑函数的公式化简法	(11)
1.3.2 逻辑函数的卡诺图化简法	(12)
本章小结	(18)
思考题与习题	(19)
第 2 章 逻辑门电路	(21)
2.1 二极管和三极管的开关特性	(21)
2.1.1 理想开关特性	(21)
2.1.2 二极管的开关特性	(21)
2.1.3 三极管的开关特性	(23)
2.2 分立元件门电路	(25)
2.3 其他系列门电路	(28)
2.3.1 TTL 集成逻辑门	(28)
2.3.2 CMOS 逻辑门电路	(38)
2.3.3 TTL 和 CMOS 逻辑门的使用及注意事项	(42)
2.4 门电路的综合应用	(45)
2.4.1 自激多谐振荡器	(45)

2.4.2	门电路组成的单稳态触发器	(48)
2.4.3	施密特触发器	(52)
本章小结		(56)
思考题与习题		(57)
第3章 组合逻辑电路		(61)
3.1	组合逻辑电路的分析与设计	(61)
3.1.1	概述	(61)
3.1.2	组合逻辑电路的分析方法	(61)
3.1.3	组合逻辑电路的设计	(63)
3.2	常用的组合逻辑电路	(64)
3.2.1	编码器	(64)
3.2.2	译码器	(69)
3.2.3	数据选择器及数据分配器	(76)
3.2.4	算术运算电路	(80)
3.2.5	数值比较器	(82)
3.3	MSI 组合逻辑器件应用举例	(84)
3.3.1	用译码器实现逻辑函数	(84)
3.3.2	用数据选择器实现组合逻辑函数	(86)
3.4	组合逻辑电路中的竞争冒险现象	(88)
3.4.1	竞争冒险现象及其产生原因	(88)
3.4.2	竞争冒险的消除	(88)
3.5	常用组合集成电路简介	(89)
本章小结		(90)
思考题与习题		(91)
第4章 触发器		(93)
4.1	RS 触发器	(93)
4.1.1	基本 RS 触发器	(93)
4.1.2	同步 RS 触发器	(95)
4.1.3	主从 RS 触发器	(99)
4.2	JK 触发器	(100)
4.2.1	主从 JK 触发器	(100)
4.2.2	负边沿 JK 触发器	(103)

4.3	D 触发器	(104)
4.4	T 触发器和 T' 触发器	(106)
4.4.1	T 触发器	(106)
4.4.2	T' 触发器	(107)
4.5	触发器逻辑功能的转换	(108)
4.6	触发器应用举例	(109)
4.6.1	触发器组成寄存器	(109)
4.6.2	触发器组成无抖动开关	(110)
4.6.3	触发器组成分频器	(111)
4.6.4	触发器组成 555 定时器	(111)
4.7	集成触发器简介	(117)
	本章小结	(119)
	思考题与习题	(119)
第 5 章	时序逻辑电路	(123)
5.1	时序逻辑电路的一般分析方法	(123)
5.1.1	时序逻辑电路的特点	(123)
5.1.2	时序逻辑电路的一般分析方法	(123)
5.1.3	时序逻辑电路分析实例	(125)
5.2	计数器	(129)
5.2.1	计数器的功能和分类	(129)
5.2.2	二进制计数器	(130)
5.2.3	十进制计数器	(132)
5.2.4	任意 N 进制计数器	(134)
5.2.5	计数器应用实例	(139)
5.2.6	集成计数器简介	(141)
5.3	寄存器	(141)
5.3.1	寄存器的功能及工作过程	(141)
5.3.2	寄存器应用举例	(145)
5.3.3	集成寄存器简介	(150)
	本章小结	(150)
	思考题与习题	(151)

第 6 章 D/A 与 A/D 转换	(155)
6.1 概述	(155)
6.2 D/A 转换器	(156)
6.2.1 概述	(156)
6.2.2 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	(157)
6.2.3 集成 D/A 转换器举例	(158)
6.2.4 D/A 转换器的主要技术指标	(159)
6.3 A/D 转换器	(161)
6.3.1 A/D 转换的基本原理	(161)
6.3.2 A/D 转换器的类型	(163)
6.3.3 集成 A/D 转换器举例	(168)
6.3.4 A/D 转换器的主要技术指标	(171)
6.4 D/A 转换器和 A/D 转换器应用举例	(172)
6.4.1 D/A 转换器 0832	(172)
6.4.2 A/D 转换器构成数字电压表	(173)
本章小结	(175)
思考题与习题	(176)
第 7 章 大规模数字集成电路	(177)
7.1 概述	(177)
7.2 只读存储器	(178)
7.2.1 固定 ROM	(179)
7.2.2 可编程 ROM	(180)
7.2.3 可擦除可编程 ROM	(181)
7.2.4 ROM 应用	(182)
7.3 随机存取存储器	(184)
7.3.1 RAM 的基本结构	(185)
7.3.2 RAM 存储单元	(186)
7.3.3 RAM 存储容量的扩展	(187)
7.4 可编程逻辑器件 PLD	(188)
7.4.1 PLD 的基本结构与表示方法	(189)
7.4.2 可编程逻辑阵列 PLA	(191)
7.4.3 可编程阵列逻辑 PAL	(193)
7.4.4 通用阵列逻辑 GAL	(195)

7.5 常用大规模数字集成器件简介	(199)
本章小结	(200)
思考题与习题	(200)
第 8 章 典型数字电路实例	(203)
8.1 概述	(203)
8.2 数字电路系统设计的一般方法与实例	(203)
8.2.1 数字电路系统设计的一般方法	(203)
8.2.2 数字频率计的设计	(205)
本章小结	(209)
思考题与习题	(209)
参考文献	(210)

第 1 章 数字逻辑基础

【内容提要】 本章介绍数字信号及数字电路的特点,重点讨论逻辑函数的基本概念、主要定律和常用的运算规则,在此基础上介绍两种逻辑函数的化简方法。

1.1 数字信号及数字电路的基本概念

1.1.1 数字信号

自然界中存在着许多物理量,其中有些物理量在时间和数量上都具有连续变化的特点,例如,温度、湿度、压力、路程等,它们在一定范围内可以取任意实数值,通常称这种连续变化的物理量为模拟量,表示模拟量的电信号则称为模拟信号,产生和处理模拟信号的电路称为模拟电路。

还有一类物理量在时间和数量上是离散的,它们的每次取值都是某个最小单位的整数倍,例如,某个产品的生产个数,这一类物理量称为数字量,表示数字量的电信号则称为数字信号,产生和处理数字信号的电路称为数字电路。

数字电路中只有两种状态,如真与假、开与关、高与低、有与无等,这两种状态可分别用 0 和 1 来表示,如图 1-1 所示。图中每个 0 和 1 的持续时间为 Δt ,通常称为 1 比特(bit)或 1 拍。图 1-1(a)中用 1 代表高电平,0 代表低电平;图 1-1(b)中用 1 代表有脉冲,0 代表无脉冲。

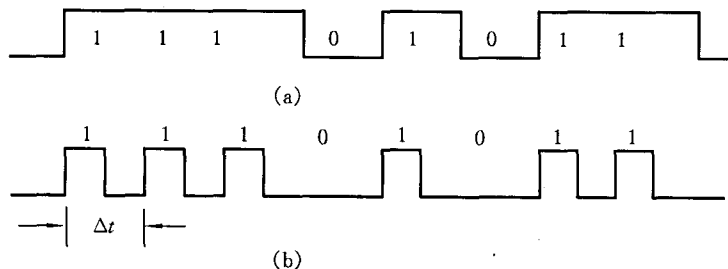


图 1-1 数字信号

1.1.2 数制与数制的转换

按进位规则进行计数的称为进位计数制,简称数制。在日常生活中应用最广

泛的是十进制,在数字电路和计算机中广泛使用的则是二进制、八进制和十六进制。所以,经常需要在两种不同数制之间进行转换,即数制转换。

1. 数的表示方法

数的表示方法有两种:位置记数法和按位权展开法。例如,十进制数 289,读作“二百八十九”,这就是位置记数法,同时,289 又可以写成

$$(289)_{10} = 2 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 9 \times 10^0$$

式中, 10^2 、 10^1 、 10^0 分别为十进制数在百位、十位、个位上的位权值;下角标 10 表示十进制。十进制数的各个数位的位权值是 10 的幂,这就是按位权展开法。

在一种数值中采用的数码的个数称为基数,所以,十进制数的基数为 10,二进制、八进制、十六进制的基数则分别为 2、8、16。

一个含有 n 位整数、 m 位小数的十进制数按位权展开法可以表示为

$$\begin{aligned}(N)_{10} &= a_{n-1} \cdots a_0 a_{-1} \cdots a_{-m} \\ &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + \cdots + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i\end{aligned}$$

式中, a_i 为第 i 位数码,它是十进制数码 0~9 中的任意一个; 10^i 为第 i 位的位权值; n 和 m 为正整数。

在二进制数中,只有 0、1 两个数码,所以其基数是 2,各个数位的位权值是 2 的幂。任意一个二进制数按位权展开法可表示为

$$\begin{aligned}(N)_2 &= a_{n-1} \cdots a_0 a_{-1} \cdots a_{-m} \\ &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + \cdots + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i\end{aligned}$$

式中, a_i 为数码 0 或 1; 2^i 为第 i 位的位权值; n 和 m 为正整数。

上述表示方法可以推广到任意进制 R ,在 R 进制中,有 R 个数码,基数为 R ,其各位数码的位权值是 R 的幂。所以,按位权展开法可以将任意一个 R 进制数表示为

$$\begin{aligned}(N)_R &= a_{n-1} \cdots a_0 a_{-1} \cdots a_{-m} \\ &= a_{n-1} \times R^{n-1} + \cdots + a_0 \times R^0 + a_{-1} \times R^{-1} + \cdots + a_{-m} \times R^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times R^i\end{aligned}$$

式中, a_i 为 R 个数码中的任意一个; R^i 为第 i 位的位权值; n 和 m 为正整数。

2. 数制转换

(1) 任意进制 R 转换为十进制

法则: 将被转换的 R 进制数按权位展开, 然后相加。

例 1.1 将 $(101101.101)_2$ 转换为十进制数。

$$\begin{aligned}\text{解 } (101101.101)_2 &= 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 \\ &\quad + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= (45.625)_{10}\end{aligned}$$

例 1.2 将 $(214.67)_8$ 转换为十进制数。

$$\begin{aligned}\text{解 } (214.67)_8 &= 2 \times 8^2 + 1 \times 8^1 + 4 \times 8^0 + 6 \times 8^{-1} + 7 \times 8^{-2} \\ &= (140.859)_{10}\end{aligned}$$

(2) 十进制转换为任意进制 R

十进制转换为任意进制 R , 要将十进制数的整数部分和小数部分分开进行转换。

① 整数部分转换。

法则: 用基数去连除整数, 直到商为 0, 然后将所得余数倒排。

例 1.3 将 $(47)_{10}$ 转换为二进制数。

解	余数		
2	47	1	最低位 LSB
2	23	1	
2	11	1	
2	5	1	
2	2	0	
2	1	1	最高位 MSB
	0		

则 $(47)_{10} = (101111)_2$

② 小数部分转换。

法则: 将小数部分逐次乘以基数, 直到最后乘积为 0 或达到所要求的精度为止, 然后取乘积的整数正排。取到小数点后第 n 位, 转换误差就为 $(\text{权})^{-n}$ 。

例 1.4 将 $(0.25)_{10}$ 转换为二进制数。

$$\begin{aligned}\text{解 } 0.25 \times 2 &= 0.5, a_{-1} = 0 \\ 0.5 \times 2 &= 1.0, a_{-2} = 1 \\ 0.0 \times 2 &= 0\end{aligned}$$

所以 $(0.25)_{10} = (0.01)_2$

例 1.5 将 $(0.37)_{10}$ 转换为二进制数, 要求精度为 1%。

解

$$0.37 \times 2 = 0.74, a_{-1} = 0$$

$$0.74 \times 2 = 1.48, a_{-2} = 1$$

$$0.48 \times 2 = 0.96, a_{-3} = 0$$

$$0.96 \times 2 = 1.92, a_{-4} = 1$$

$$0.92 \times 2 = 1.84, a_{-5} = 1$$

$$0.84 \times 2 = 1.68, a_{-6} = 1$$

$$0.68 \times 2 = 1.36, a_{-7} = 1$$

因为 $2^{-7} \approx 0.7\%$, 在允许的精度之内, 所以

$$(0.37)_{10} = (0.0101111)_2$$

(3) 二进制与八(十六)进制的转换

因为 3(4) 位二进制数码可以构成 1 位八(十六)进制数, 所以它们之间的转换十分方便, 而且不存在转换误差。

例 1.6 将 $(1110010.0101)_2$ 转换为八进制数。

解

$$\begin{array}{ccccccc} 001 & 110 & 010 & . & 010 & 100 & \\ \leftarrow & \leftarrow & \leftarrow & & \rightarrow & \rightarrow & \\ 1 & 6 & 2 & & 2 & 4 & \end{array}$$

所以

$$(1110010.0101)_2 = (162.24)_8$$

例 1.7 将 $(4A.CF)_{16}$ 转换为二进制数。

解

$$\begin{array}{ccccccc} 4 & A & C & F & & & \\ \leftarrow & \leftarrow & \rightarrow & \rightarrow & & & \\ 0100 & 1010 & 1100 & 1111 & & & \end{array}$$

所以

$$(4A.CF)_{16} = (1001010.11001111)_2$$

1.2 逻辑代数基础

1.2.1 逻辑关系

所谓逻辑关系就是事物的因果关系。数字电路主要研究电路的输入(0 或 1)和输出(0 或 1)之间变化的因果关系, 即逻辑关系。数字电路的主要分析工具是逻辑代数, 运用的主要方法是逻辑分析和逻辑设计, 所以数字电路也称为逻辑电路。

数字电路中对输入的逻辑变量 $A, B, C, \dots$ 和对应输出的逻辑变量 $F_1, F_2, \dots$ 的取值均只有 0 或 1 两个数, 如果 $A, B, C, \dots$ 的每一组取值确定后, $F_1, F_2, \dots$ 的值也唯一地确定, 则 $F_1, F_2, \dots$ 称为 $A, B, C, \dots$ 的逻辑函数, 记作

$$F_1 = f_1(A, B, C, \dots), F_2 = f_2(A, B, C, \dots)$$

如果 F_1 和 F_2 对应 $A, B, C, \dots$ 的每一组取值所得到的值都相等, 则 $F_1 = F_2$ 。

1.2.2 三种基本逻辑函数

1. 与逻辑关系和与运算

图 1-2 所示的是两个开关 A、B 和灯泡 Z 及电源组成的串联电路,这是一个与逻辑电路。分析电路可知,只有当开关 A、B 都闭合时,灯 Z 才会亮;A 和 B 只要有一个断开或者全部断开,灯都不会亮。如果用 1 表示开关 A 和 B 闭合,0 表示开关断开;用 1 表示灯 Z 亮,0 表示灯 Z 灭,则开关(条件)和灯(结果)之间的逻辑关系可以用表 1-1 来描述,此即逻辑真值表。

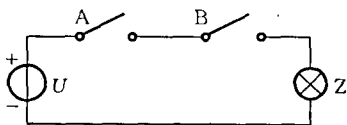


图 1-2 与逻辑电路实例

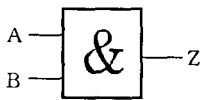


图 1-3 与门逻辑符号

表 1-1 与逻辑真值表

A	B	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

与逻辑的含义是:只有决定某一事物结果的所有条件都同时具备,结果才能发生。这种条件和结果间的因果关系称为“与逻辑”关系。

在逻辑电路中,能实现与运算的基本单元叫与门,其逻辑符号如图 1-3 所示。

逻辑函数 Z 与逻辑变量 A、B 的与运算表达式(亦称逻辑函数表达式)为

$$Z = A \cdot B$$

式中,“ $\cdot$ ”为逻辑与运算符,又称逻辑乘,“ $\cdot$ ”号可以省略。

2. 或逻辑关系和或运算

图 1-4 所示的是一个或逻辑电路。分析电路可知,只要开关中任何一个或两个闭合,灯 Z 就会亮。若 A、B、Z 的 0、1 含义同前所述,则其真值表如表 1-2 所示。或逻辑的含义是:在决定某一事物结果的所有条件中,只要有一个或一个以上的条件具备,结果就会发生。这样的因果关系称为“或逻辑”关系。

在逻辑电路中,能实现或运算的基本单元叫或门,其逻辑符号如图 1-5 所示。

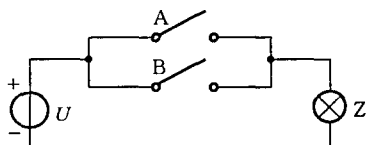


图 1-4 或逻辑电路实例

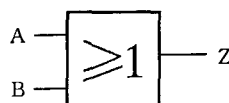


图 1-5 或门逻辑符号

表 1-2 或逻辑真值表

A	B	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

逻辑函数 Z 与逻辑变量 A 、 B 的或运算表达式为

$$Z = A + B$$

式中,“+”为逻辑或运算符,又称逻辑加。

3. 非逻辑关系和非运算

图 1-6 所示的是一个非逻辑电路。分析电路可知,当开关 A 闭合时,灯 Z 灭;当开关 A 断开时,灯 Z 亮。若 A 、 Z 的 0、1 含义同前,则其真值表如表 1-3 所示。非逻辑的含义是,当条件不具备时,结果才发生。这样的因果关系称为“非逻辑”关系。

在逻辑电路中,能实现非运算的基本单元叫非门,其逻辑符号如图 1-7 所示。

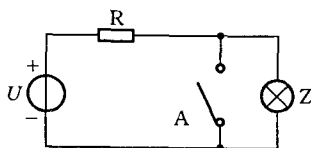


图 1-6 非逻辑电路实例

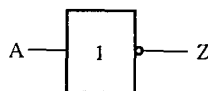


图 1-7 非门逻辑符号

表 1-3 非逻辑真值表

A	Z
0	1
1	0

非逻辑表达式可以写成

$$Z = \bar{A}$$