

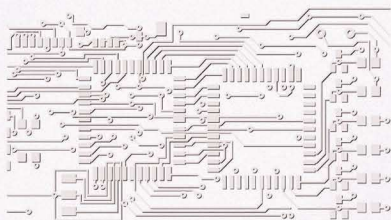


普通高等教育“十二五”规划教材

数字电子技术

SHUZI DIANZI JISHU

主 编 刘联会 陈建铎
副主编 王亚亚 贾亚娟 谢国坤
田孟敏 郑 凯



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



普通高等教育“十二五”规划教材

数 字 电 子 技 术

主 编 刘联会 陈建铎
副主编 王亚亚 贾亚娟 谢国坤
田孟敏 郑 凯



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书共分两篇。第1篇是教材主体,共由8章组成,主要介绍了数制与编码、逻辑门电路、逻辑代数基础、集成触发器、脉冲信号的产生与波形变换等基本功能电路;组合逻辑电路、时序逻辑电路、数/模和模/数转换器、半导体存储器等基本数字部件。第2篇为本教材配套实验。全书合理融合现代数字系统设计方法和VHDL。

本书可作为高等院校电气、电子、信息及自动化等专业“数字电子技术”课程教材,也可作供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术 / 刘联会,陈建铎主编. -- 北京:北京邮电大学出版社,2017.1

ISBN 978-7-5635-4544-5

I. ①数… II. ①刘…②陈… III. ①数字电路—电子技术 IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第007183号

书 名: 数字电子技术

著作责任者: 刘联会 陈建铎 主编

责任编辑: 刘 颖

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷:

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 17.25

字 数: 407 千字

版 次: 2017年1月第1版 2017年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-4544-5

定价: 36.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

数字电子技术是电子、电气、信息、自动化等专业的一门重要的专业基础及技术基础课,同时又是一门实践性和应用性很强的课程。为更好地实现理论和实践相结合,培养学生的工程应用能力,特编写本教材。

全教材由两篇组成。第1篇是本教材的主体,其又可分为两个部分:第1部分介绍了数制与编码、逻辑门电路、逻辑代数基础、集成触发器、脉冲信号的产生与波形变换等基本功能电路及与之对应的基本技能训练。基本功能电路着重介绍其基本工作原理、逻辑功能及其使用;基本技能训练侧重于培养学生对电路功能的测试和运用所学知识进行简单逻辑设计,正确使用仪表进行测试调整,初步熟悉排除实验故障的方法。第2部分介绍了组合逻辑电路、时序逻辑电路、数/模和模/数转换器、半导体存储器等基本数字部件及与之配合使用的综合技能训练。基本数字部件主要介绍了其逻辑功能及其扩展运用。综合技能训练侧重于培养学生综合运用所学知识正确选用集成器件进行逻辑设计和解决较复杂问题的能力,并结合介绍常见数字系统的故障诊断方法。第2篇为本教材配套实验。

本教材在内容选取方面,突出了中、大规模集成电路的外部特性和应用。在理论与实践结合方面,除了注重培养学生的工程应用能力外,还注意了对学生设计能力的开发,每章都设有技能题,学生做完这类题后,可到实验室搭试验证。

本教材可作为高等院校电气、电子、通信及自动化等专业的“数字电子技术”课程教材,也可作为“电子技术基础”数字电路部分教材,还可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

本教材由西安交通工程学院数字电子技术教研组教师共同完成。王亚亚编写第1、8章,贾亚娟编写第2、3章,谢国坤编写第4、5章,田孟敏编写第6、7章,郑凯编写实验部分。刘联会和陈建铎任主编并统稿。

对本教材参考文献的著作者,我们致以真诚的感谢。限于编者水平,书中难免有错误和不妥之处,敬请同行和读者批评指正。

编 者
2017 年 1 月

目 录

第 1 篇 原理、功能和设计应用

第 1 章 数字电路基础	3
1.1 概述	3
1.2 几种常用的数制	5
1.3 不同数制间的转换	6
1.4 二进制的算术运算	9
1.4.1 二进制算术运算的特点	9
1.4.2 反码、补码和补码运算	9
1.5 逻辑代数基础	12
1.5.1 二值逻辑和逻辑运算	12
1.5.2 逻辑代数中的三种基本运算	12
1.5.3 复合逻辑运算	13
1.6 逻辑函数及其描述方法	15
1.6.1 逻辑函数	15
1.6.2 逻辑函数的描述方法	15
1.6.3 逻辑函数的标准形式	17
1.6.4 逻辑函数公式、规则和常用表达式形式	19
1.6.5 逻辑代数的三个规则	20
1.7 逻辑函数化简	21
1.7.1 公式法化简	21
1.7.2 卡诺图化简法	22
本章小结	27
本章习题	27
第 2 章 逻辑门电路	29
2.1 半导体器件的开关特性	29
2.1.1 二极管的开关特性	29
2.1.2 三极管的开关特性	30

2.1.3 MOS 管的开关特性	32
2.2 分立元件门电路	33
2.2.1 二极管与门电路	33
2.2.2 二极管或门电路	35
2.2.3 三极管反相器(非门)	36
2.2.4 复合门电路	37
2.3 TTL 逻辑门电路	38
2.3.1 TTL 与非门内部结构和工作原理	38
2.3.2 TTL 反相器的特性和主要参数	39
2.3.3 其他功能和类型的 TTL 路门电路	43
2.4 CMOS 门电路	49
2.4.1 CMOS 反相器	49
2.4.2 其他 CMOS 门电路	53
本章小结	56
本章习题	57
第 3 章 组合逻辑电路	61
3.1 概述	61
3.1.1 组合逻辑电路的方框图及特点	61
3.1.2 组合逻辑电路的分析方法	61
3.1.3 组合逻辑电路的一般设计方法	63
3.2 常用组合逻辑电路	65
3.2.1 加法器	65
3.2.2 乘法器	69
3.2.3 数字比较器	71
3.2.4 编码器	74
3.2.5 译码器	80
3.2.6 数据选择器	87
3.2.7 数据分配器	90
3.3 用集成电路实现组合逻辑函数	91
3.3.1 用集成数据选择器实现组合逻辑函数	91
3.3.2 用译码器实现组合逻辑函数	93
3.3.3 用加法器实现组合逻辑函数	94
3.4 组合电路中的竞争冒险	96
3.4.1 组合电路中的竞争冒险现象	96
3.4.2 组合电路中的竞争冒险判别方法	97
3.4.3 组合电路中的竞争冒险消除方法	98
本章小结	100

本章习题.....	100
第 4 章 触发器	104
4.1 概述	104
4.2 触发器的电路结构与动作特点	104
4.2.1 基本 RS 触发器的电路结构与动作特点	104
4.2.2 同步 RS 触发器的电路结构与动作特点	106
4.2.3 主从触发器的电路结构和动作特点	107
4.2.4 边沿触发器的电路结构和动作特点	109
4.3 触发器的逻辑功能及其描述方法	111
4.3.1 触发器按逻辑功能的分类	111
4.3.2 触发器的电路结构与逻辑功能的关系	114
4.4 触发器逻辑功能的转换	114
4.4.1 集成触发器	114
4.4.2 触发器的相互转换	115
本章小结.....	116
本章习题.....	117
本章习题解答.....	119
第 5 章 时序逻辑电路	122
5.1 概述	122
5.1.1 时序电路的分析方法	122
5.1.2 时序电路分析举例	122
5.2 同步计数器	124
5.3 异步计数器	127
5.4 集成计数器	129
5.4.1 集成计数器	129
5.4.2 用集成计数器构成任意进制计数器	131
5.5 寄存器	134
5.5.1 数据寄存器	134
5.5.2 移位寄存器	135
本章小结.....	138
本章习题.....	138
本章习题解答.....	140
第 6 章 脉冲波形的产生与整形	144
6.1 脉冲信号的基本参数	144

6.2 施密特触发器	145
6.2.1 施密特触发器的基本概念	145
6.2.2 由 CMOS 门构成的施密特触发器	146
6.2.3 施密特触发器的应用	148
6.3 单稳态触发器	150
6.3.1 单稳态触发器的基本概念	150
6.3.2 由 CMOS 门构成的微分型单稳态触发器	150
6.3.3 集成单稳态触发器	154
6.3.4 单稳态触发器的应用	155
6.4 多谐振荡器	156
6.4.1 由 CMOS 非门构成的多谐振荡器	157
6.4.2 CMOS 石英晶体振荡器	159
6.5 555 定时器及应用	160
6.5.1 CMOS 集成定时器 7555 的电路结构和工作原理	160
6.5.2 555 定时器构成的施密特触发器	162
6.5.3 555 定时器构成的多谐振荡器	163
6.5.4 555 定时器构成的单稳态触发器	165
本章小结	168
本章习题	168
第 7 章 数模与模数转换电路	173
7.1 D/A 转换器	173
7.2 A/D 转换器	179
本章小结	190
本章习题	191
第 8 章 存储器	192
8.1 概述	192
8.2 只读存储器	193
8.2.1 可编程只读存储器	195
8.2.3 可擦除的可编程只读存储器	196
8.3 随机存储器	198
8.3.1 静态随机存储器	198
8.3.2 动态随机存储器	202

第 2 篇 实 验

实验一 门电路逻辑功能及测试.....	209
一、实验目的	209
二、实验仪器及材料	209
三、预习要求	209
四、实验内容及步骤	209
五、实验报告	214
实验二 组合逻辑电路 I (半加器、全加器)	215
一、实验目的	215
二、实验仪器及材料	215
三、预习要求	215
四、实验内容及步骤	216
五、实验报告	219
实验三 组合逻辑电路 II (译码器和数据选择器)	220
一、实验目的	220
二、实验仪器及材料	220
三、实验内容及步骤	221
四、实验报告	222
实验四 触发器.....	223
一、实验目的	223
二、实验仪器及材料	223
三、实验内容及步骤	223
四、实验报告	226
实验五 时序电路(计数器、移位寄存器)	227
一、实验目的	227
二、实验仪器及材料	227
三、实验内容及步骤	228
四、实验报告	229

实验六 组合逻辑电路的设计和逻辑功能验证	230
一、实验目的	230
二、实验仪器及材料	230
三、注意事项及说明	230
四、实验内容、原理及步骤	231
五、实验报告和要求	234
实验七 D/A 和 A/D 转换器	235
一、实验目的	235
二、实验仪器及材料	235
三、实验原理	235
四、实验内容及步骤	237
五、实验报告	239
六、预习要求	239
实验八 555 时基电路的应用	240
一、实验目的	240
二、实验仪器及材料	240
三、实验原理	240
四、实验内容及步骤	242
五、实验报告	244
实验九 集成电路多种计数器综合应用	245
一、实验目的	245
二、实验仪器及材料	245
三、实验内容及步骤	245
四、实验报告	247
实验十 触发器及其应用	248
一、实验目的	248
二、实验原理	248
三、实验仪器及设备	251
四、实验内容	251
五、预习要求	253
六、实验报告	254

实验十一 移位寄存器及其应用	255
一、实验目的	255
二、实验原理	255
三、实验仪器及设备	256
四、实验内容	257
五、预习要求	258
六、实验报告	258
实验十二 中规模集成计数器的应用	259
一、实验目的	259
二、实验原理	259
三、实验仪器及设备	261
四、实验内容	261
五、预习要求	262
六、实验报告	262

第 1 篇 原理、功能 and 设计应用

第 1 章 数字电路基础

第 2 章 逻辑门电路

第 3 章 组合逻辑电路

第 4 章 触发器

第 5 章 时序逻辑电路

第 6 章 脉冲波形的产生与整形

第 7 章 数模与模数转换电路

第 8 章 存储器

第 1 章 数字电路基础

1.1 概 述

我们知道,数字电路需要处理的是各种数字信号,那么这种数字信号有什么特点呢?

留心观察一下自然界中形形色色的物理量,不难发现,就其变化规律的特点而言,它们不外乎两大类。其中一类物理量的变化在时间上或在数值上则是连续的。我们把这一类物理量称为模拟量,把表示模拟量的信号称为模拟信号,并把工作在模拟信号下的电子电路称为模拟电路。例如,热电偶工作时输出的电压或电流信号就是一种模拟信号,因为被测的温度不可能发生突跳,所以测得的电压或电流无论在时间上还是在数量上都是连续的。而且,这个信号在连续变化过程中的任何一个取值都有具体的物理意义,即表示一个相应的温度。另外一类物理量的变化在时间上和数量上都是离散的,也就是说,它们的变化在时间上是不连续的,总是发生在一系列离散的瞬间。而且,它们数值的大小和每次的增减变化都是某一个最小数量单位的整数倍,而小于这个最小数量单位的数值没有任何物理意义。我们把这一类物理量称为数字量,把表示数字量的信号称为数字信号,并把工作在数字信号下的电子电路称为数字电路。例如,我们统计通过某一个桥梁的汽车数量,得到的就是一个数字量,最小数量单位的“1”代表“一辆”汽车,小于 1 的数值已经没有任何物理意义。

模拟信号是表示模拟量的信号,模拟量是时间上和数值上都连续的物理量。模拟信号包括正弦波信号和脉冲信号,常见的脉冲信号有方波、矩形波、尖脉冲锯齿波、梯形波等,如图 1-1 所示。



图 1-1 几种模拟信号的波形

数字信号是表示数字量的信号,数字量是时间上和数值上都离散的物理量。数字信号包括电平型(不归零型)和脉冲型(归零型),如图 1-2 所示。

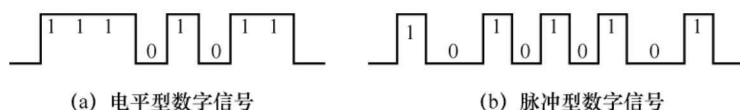


图 1-2 两种数字信号波形

数字信号是用数码表示的,其数码中只有“1”和“0”两个数字,而“1”和“0”没有数量的意义,表示事物的两个对立面。

数字技术是一门应用学科,它的发展可分为 6 个阶段。

(1) 第一阶段:20 世纪 30 年代在通信技术(电报、电话)首先引入二进制的信息存储技术。在 1847 年由英国科学家乔治·布尔(George Boole)创立布尔代数,并在电子电路中得到应用,形成开关代数,并具有一套完整的数字逻辑电路的分析和设计方法。

(2) 第二阶段:20 世纪 40 年代数字技术在电子计算机中得到应用,此时的电子计算机以电子管(真空管)作为基本器件。此时期,数字技术在电话交换和数字通信方面也有应用。

(3) 第三阶段:20 世纪 60 年代晶体管的出现,使得数字技术有了飞跃性的发展,除了在计算机、通信领域应用外,数字技术在其他(如测量)领域同样得到了应用。

(4) 第四阶段:20 世纪 70 年代中期集成电路的出现,使得数字技术有了更广泛的应用,在各行各业(如医疗、雷达、卫星等领域)都得到应用。

(5) 第五阶段:20 世纪 70 年代中期到 80 年代中期,微电子技术的发展,使得数字技术得到迅猛的发展,产生了大规模和超大规模的集成数字芯片,应用在各行各业和我们的日常生活之中。

(6) 第六阶段:20 世纪 80 年代中期以后,一些专用和通用的集成芯片以及一些可编程的数字芯片应运而生,并且制作技术日益成熟,使得数字电路的设计呈现出模块化和可编程的特点,从而提高了设备的性能、适用性,降低了成本,这是数字电路今后发展的趋势。

随着计算机科学与技术突飞猛进的发展,用数字电路进行信号处理的优势也更加突出。为了充分发挥和利用数字电路在信号处理上的强大功能,我们可以先将模拟信号按比例转换成数字信号,然后采用数字电路(可以是专用的数字信号处理电路,也可以是通用的计算机)进行处理,最后再将处理结果根据需要转换为相应的模拟信号输出。自 20 世纪 70 年代开始,这种用数字电路处理模拟信号的所谓“数字化”浪潮已经席卷了电子技术几乎所有的应用领域。

数字信号通常都是用数码形式给出的。不同的数码可以用来表示数量的不同大小。用数码表示数量大小时,仅一位数码往往不够用,因此经常需要用进位计数制的方法组成多位数码使用。我们把多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位进位的规则称为数制。在数字电路中经常使用的计数进制除了我们最熟悉的十进制以外,使用更多的是二进制和十六进制,有时也会用到八进制。

当两个数码分别表示两个数量大小时,它们可以进行数量间的加、减、乘、除等运算。这种运算称为算数运算。由于目前数字电路中的算数运算最终都是以二进制运算进行的,所以在这一章里我们还将比较详细地讨论在数字电路中是采取什么方式完成二进制算数运算的。

不同的数码不仅可以用来表示数量的不同大小,而且可以用来表示不同的事物或事

物的不同状态。在用于表示不同事物的情况下,这些数码已经不再具有表示数量大小的含义了,它们只是不同事物的代号而已。这些数码称为代码。例如,在举行长跑比赛时,为了便于识别运动员,通常要给每一位运动员编一个号码。显然,这些号码仅仅表示不同的运动员而已,没有数量大小的含义。

为了便于记忆和查找,在编制代码时总要遵循一定的规则,这些规则就称为码制。每个人都可以根据自己的需要选定编码规则,编制出一组代码。考虑到信息交换的需要,还必须制定一些大家共同使用的通用代码。例如,目前国际上通用的美国信息交换标准代码(ASCII码)就属于这一种。

1.2 几种常用的数制

1. 十进制

十进制是日常生活和工作中最常使用的进位计数制。在十进制数中,每一位有0~9十个数码,所以计数的基数是10。超过9的数必须用多位数表示,其中低位和相邻高位之间的关系是“逢十进一”,故称为十进制。例如:

$$143.75 = 1 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

所以任意一个十进制数 D 均可展开为

$$\begin{aligned}(D)_{10} &= k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_0k_{-1}\cdots k_{-m} \\ &= k_{n-1} \times 10^{n-1} + \cdots + k_0 \times 10^0 + k_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + k_{-m} \times 10^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 10^i\end{aligned}$$

其中, k_i 是第 i 位的系数,它可以是0~9这十个数码中的任何一个。若整数部分的位数是 n ,小数部分的位数为 m ,则 i 包含从 $n-1$ 到0的所有正整数和从 -1 到 $-m$ 的所有负整数。

若用 N 表示任意进制(称为 N 进制)的基数,则展成十进制数的通式为

$$\begin{aligned}(D)_N &= k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_0k_{-1}\cdots k_{-m} \\ &= k_{n-1} \times N^{n-1} + \cdots + k_0 \times N^0 + k_{-1} \times N^{-1} + \cdots + k_{-m} \times N^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times N^i\end{aligned}$$

例如, $N=10$ 为十进制, $N=2$ 为二进制, $N=8$ 为八进制, $N=16$ 为十六进制。其中 N 为基数, k_i 为第 i 位的系数, N_i 表示第 i 位的权值。

2. 二进制

进位规则是“逢二进一”,任意一个 n 位整数、 m 位小数的二进制可表示为

$$\begin{aligned}(D)_2 &= k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_0k_{-1}\cdots k_{-m} \\ &= k_{n-1} \times 2^{n-1} + \cdots + k_0 \times 2^0 + k_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + k_{-m} \times 2^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 2^i\end{aligned}$$

其中, k_i 取值只有两个数码(0和1); 2_i 为二进制的权,基数为2; n, m 为正整数。例如:

$$(11011.101)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

$$(27.625)_{10} = (11011.101)_2$$

一个数码的进制表示,可用下标。例如 $(N)_2$ 表示二进制; $(N)_{10}$ 表示十进制;

$(N)_8$ 表示八进制, $(N)_{16}$ 表示十六进制。

有时也用字母做下标。例如, $(N)_B$ 表示二进制,B—Binary; $(N)_D$ 表示十进制,D—

Decimal; $(N)_O$ 表示八进制, O—Octal; $(N)_H$ 表示十六进制, H—Hexadecimal。

3. 八进制

进位规则是“逢八进一”, 其基数为 8。任意一个 n 位整数、 m 位小数的八进制可表示为

$$\begin{aligned}(N)_8 &= k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_0k_{-1}\cdots k_{-m} \\ &= k_{n-1}\times 8^{n-1} + \cdots + k_0\times 8^0 + k_{-1}\times 8^{-1} + \cdots + k_{-m}\times 8^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 8^i\end{aligned}$$

其中, k_i 的取值有 8 个数码(0~7); 8^i 为八进制的权, 基数为 8; n, m 为正整数。例如:

$$(13.74)_8 = 1\times 8^1 + 3\times 8^0 + 7\times 8^{-1} + 4\times 8^{-2} = (11.9375)_{10}$$

4. 十六进制

进位规则是“逢十六进一”, 其基数为 16。任意一个 n 位整数、 m 位小数的十六进制可表示为

$$\begin{aligned}(N)_{16} &= k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_0k_{-1}\cdots k_{-m} \\ &= k_{n-1}\times 16^{n-1} + \cdots + k_0\times 16^0 + k_{-1}\times 16^{-1} + \cdots + k_{-m}\times 16^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 16^i\end{aligned}$$

其中, k_i 的取值为 16 个数码[0~9、A(10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15)]; 16^i 为十六进制的权, 基数为 16; n, m 为正整数。例如:

$$(F9.1A)_{16} = 15\times 16^1 + 9\times 16^0 + 1\times 16^{-1} + 10\times 16^{-2} = (249.1015625)_{10}$$

目前在计算机上常用的是 8 位、16 位和 32 位二进制数表示和计算, 由于 8 位、16 位和 32 位二进制数都可以用 2 位、4 位和 8 位十六进制数表示, 故在编程时用十六进制书写非常方便。

表 1-1 不同进制数的对照表

十进制(Decimal)	二进制(Binary)	八进制(Octal)	十六进制(Hexadecimal)
00	0000	00	0
01	0001	01	1
02	0010	02	2
03	0011	03	3
04	0100	04	4
05	0101	05	5
06	0110	06	6
07	0111	07	7
08	1000	10	8
09	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

1.3 不同数制间的转换

不同进制的数码之间的转换称为数制转换。