



高等学校应用型特色规划教材

SHUZI DIANZI JISHU

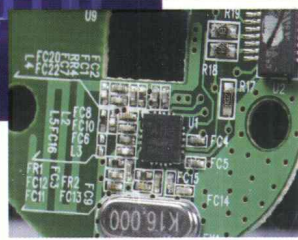
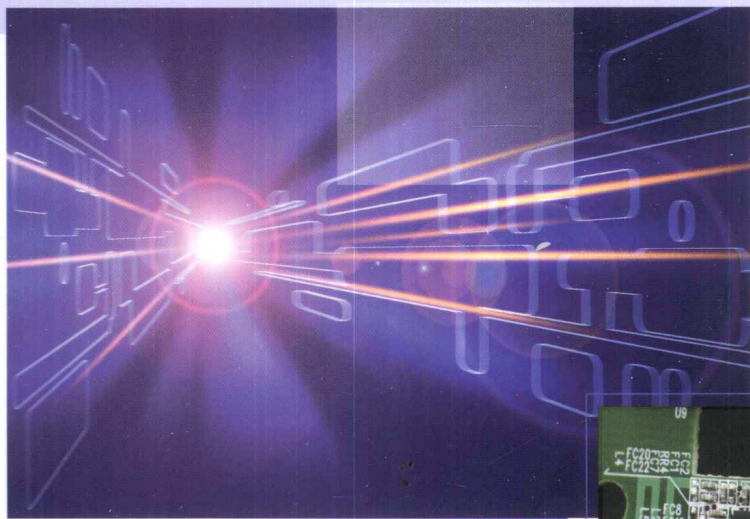
数字电子技术

张雪平 主 编

李双喜
许振伟

张玉芝
赵 娟

副主编



免费赠送电子课件

适应电子技术的飞速发展，引入了EDA等最新技术相关的知识。

突出基本理论和基本分析方法，并且注重综合应用能力和创新能力的培养。

设计与重难点相应的例题，通俗易懂，加深读者理解。



清华大学出版社

高等学校应用型特色规划教材

数字电子技术

	张雪平	主 编
李双喜	张玉芝	副主编
许振伟	赵 娟	

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据教育部学科专业调整方案和电类各专业人才培养新模式的需求而编写的。本书系统地介绍了数字电子技术的基础知识,包括逻辑代数基础、门电路、组合逻辑电路、常用组合逻辑器件、时序逻辑电路、常用时序逻辑器件、可编程逻辑器件、脉冲波形的产生和整形电路、数模和模数转换器、数字系统设计基础等。

本书概念清楚,内容先进、实用,在系统介绍基础知识的基础上,突出逻辑器件功能及应用,还对EDA的基础知识作了介绍。每章均安排有小结、思考题、习题,力求做到通俗易懂,便于使用。

本书可作为高等院校电气信息类、电子信息类、仪器仪表类及其他相近专业的本科生教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/张雪平主编;李双喜,张玉芝,许振伟,赵娟副主编. —北京:清华大学出版社,2011.1
(高等学校应用型特色规划教材)

ISBN 978-7-302-23794-5

I. ①数… II. ①张… ②李… ③张… ④许… ⑤赵… III. ①数字电路—电子技术 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 171838 号

责任编辑:李春明 郑期彤

装帧设计:杨玉兰

责任校对:李玉萍

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社、总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:24 字 数:577 千字

版 次:2011 年 1 月第 1 版 印 次:2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:39.00 元

产品编号:038496-01

前 言

随着新知识经济时代的到来,世界范围的经济发展与科技进步已向高等教育提出了更高的要求,教育的核心是素质教育,教育的重点是创新意识和应用能力的培养。随着我国教育事业发展的不断深入,应用型人才培养向着厚基础、宽层面、强能力的方向发展,强化学生的实践能力和动手能力已成为刻不容缓的任务。

数字电子技术作为一门技术基础课,是计算机信息类、电子类、仪器仪表类、机电类等专业的必修课。随着电子科学技术的飞速发展,电子计算机和集成电路获得了广泛的应用,电子技术的发展对科学技术、国民经济和国防各个领域的影响日益深入,数字电子技术的知识、理论和方法在相关专业的地位越来越重要。

EDA 技术、大规模集成电路,特别是可编程逻辑器件的高速发展,对数字电子技术课程的教学内容提出了更高的要求。为适应科学技术的发展和社会对人才培养的要求,本书对教学内容进行了调整和充实,精简了分立元件部分,增强了集成逻辑器件的内容,教学重点也从逻辑电路分析转向逻辑电路设计和集成芯片的应用。教材突出了以下几个方面。

(1) 将重点放在基本概念和基本方法上。尽管 LSI、VLSI 已成为数字系统的主体,但中、小规模集成电路仍不失其基础地位,为此本教材仍以集成电路的基础理论、基本电路和基本分析方法与设计方法为重点。

(2) 突出方法,适应发展。本书重点介绍通用系列集成电路的基本原理及特性,略去其内部复杂电路及分析,侧重器件的逻辑功能及输入、输出电气特性,使学生能以此为基础进行实际工程设计与应用。

(3) 为适应电子技术的飞速发展,本书引入了 EDA 技术的基础知识,在介绍 VHDL 语言和 Multisim 8.0 软件的基础上,对主要章节的电路采用 VHDL 语言描述并用 Multisim 8.0 软件进行仿真,使读者在微机上能够对典型电路进行功能验证,为后续数字系统设计课程的学习打下必要的基础。考虑到不同学校的需要,这部分作为选学内容,以“*”号标出。

(4) 近年来,集成电路理论与设计、集成工艺、电子技术应用等都有很大的发展与突破,本书突出了 CMOS 电路,增强了 CPLD、FPGA 等一类新型可编程逻辑器件的内容。

(5) 为便于读者加深理解,教材中针对重点、难点内容都设有相应的例题,每章均安排有小结、思考题、习题,书末附有习题答案,力求做到通俗易懂,便于教学。

书中各部分内容均从基本概念入手,提供学习数字电子技术的基本电路、分析方法、设计方法,通过具体电路系统加以总结和归纳,从而培养学生分析问题、解决问题的能力。

本书可作为高等院校电气信息类、电子信息类、仪器仪表及其他相近专业的本科生教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。



本书由张雪平任主编，李双喜、张玉芝、许振伟、赵娟任副主编，牛慧娟、曾菊蓉、周妮娜参加了编写工作。各章编写分工为：张雪平编写绪论、第 8 章并负责制订编写提纲和全书的统稿工作，李双喜编写第 5 章、第 6 章，张玉芝编写第 9 章，许振伟编写第 1 章和有“*”号的章节，赵娟编写第 4 章，牛慧娟编写第 2 章，曾菊蓉编写第 7 章、第 10 章，周妮娜编写第 3 章和附录。

限于作者水平，书中缺点和错误在所难免，衷心希望选用这套教材的师生提出批评意见。

编 者



目 录

绪论	1	2.2 分立元件门电路	63
第 1 章 逻辑代数基础	5	2.2.1 二极管与门和或门	63
概述	5	2.2.2 三极管非门	64
1.1 数制和码制	5	2.2.3 MOS 管非门	64
1.1.1 数制	5	2.3 TTL 门电路	64
1.1.2 几种常用数制之间的转换	7	2.3.1 TTL 反相器的电路结构和	
1.1.3 码制	10	工作原理	64
1.1.4 算术运算和逻辑运算	15	2.3.2 TTL 反相器的外部特性	67
1.2 逻辑代数基础	17	2.3.3 TTL 反相器的动态特性	70
1.2.1 基本逻辑运算	17	2.3.4 其他类型的 TTL 门电路	74
1.2.2 逻辑代数的基本公式	23	2.3.5 TTL 数字集成电路系列	80
1.2.3 逻辑代数的基本定理	26	2.4 CMOS 门电路	84
1.2.4 逻辑函数的表示方法	27	2.4.1 CMOS 反相器的电路结构和	
1.2.5 逻辑函数的公式法化简	33	工作原理	84
1.2.6 逻辑函数的卡诺图化简	35	2.4.2 CMOS 反相器的外部特性	86
1.2.7 具有无关项的逻辑函数		2.4.3 CMOS 与非门和或非门	88
及其化简	43	2.4.4 CMOS 三态门和漏极开路门	90
*1.3 EDA 技术基础	44	2.4.5 CMOS 传输门	92
1.3.1 VHDL 语言基础	44	2.4.6 CMOS 数字集成电路系列	94
1.3.2 Multisim 8.0 软件简介	50	*2.5 门电路的 VHDL 描述及其仿真	96
小结	52	2.5.1 门电路的 VHDL 描述	96
思考题	53	2.5.2 门电路的仿真	98
习题	54	小结	99
第 2 章 门电路	56	思考题	99
概述	56	习题	100
2.1 逻辑门电路中的开关器件	57	第 3 章 组合逻辑电路	106
2.1.1 二极管及其开关特性	57	概述	106
2.1.2 三极管及其开关特性	58	3.1 组合逻辑电路的分析	106
2.1.3 MOS 管及其开关特性	60	3.1.1 组合逻辑电路的特点	106
		3.1.2 组合逻辑电路的分析	107

3.2 组合逻辑电路的设计.....	109	5.1.2 同步触发器.....	152
3.3 组合逻辑电路中的竞争与冒险.....	111	5.1.3 边沿触发器.....	154
3.3.1 竞争与冒险的概念.....	111	5.1.4 触发器的逻辑功能及其 描述方法.....	157
3.3.2 竞争与冒险的识别.....	112	5.2 时序逻辑电路状态的描述.....	162
3.3.3 冒险现象的消除.....	114	5.3 时序逻辑电路的分析方法.....	166
*3.4 组合逻辑电路的 VHDL 描述 及其仿真.....	115	5.3.1 时序逻辑电路的分析步骤.....	166
3.4.1 组合逻辑电路的 VHDL 描述.....	115	5.3.2 时序逻辑电路的分析举例.....	166
3.4.2 组合逻辑电路的仿真.....	116	5.4 时序逻辑电路的设计方法.....	170
小结.....	117	5.4.1 时序逻辑电路的设计步骤.....	170
思考题.....	117	5.4.2 时序逻辑电路的设计举例.....	172
习题.....	118	5.5 时序逻辑电路的竞争与冒险.....	178
第 4 章 常用组合逻辑器件.....	120	*5.6 时序逻辑电路的 VHDL 描述 及其仿真.....	181
概述.....	120	5.6.1 时序逻辑电路的 VHDL 描述.....	181
4.1 编码器和译码器.....	121	5.6.2 时序逻辑电路的仿真.....	184
4.1.1 编码器.....	121	小结.....	185
4.1.2 译码器.....	125	思考题.....	186
4.1.3 显示译码器.....	130	习题.....	186
4.2 数据选择器和数据分配器.....	132	第 6 章 常用时序逻辑器件.....	190
4.2.1 数据选择器.....	132	概述.....	190
4.2.2 数据分配器.....	134	6.1 寄存器和移位寄存器.....	191
4.3 加法器和数值比较器.....	135	6.1.1 寄存器.....	191
4.3.1 加法器.....	135	6.1.2 移位寄存器.....	195
4.3.2 数值比较器.....	138	6.2 计数器.....	197
4.4 中规模集成电路实现组合 逻辑函数.....	140	6.2.1 二进制计数器.....	199
小结.....	144	6.2.2 十进制计数器.....	206
思考题.....	145	6.2.3 N 进制计数器.....	211
习题.....	145	6.3 顺序脉冲发生器.....	214
第 5 章 时序逻辑电路.....	148	6.4 常用时序逻辑器件的应用.....	217
概述.....	148	小结.....	221
5.1 触发器.....	150	思考题.....	221
5.1.1 基本触发器.....	150	习题.....	222

第7章 可编程逻辑器件225

概述225

7.1 可编程逻辑器件的发展226

7.2 可编程逻辑器件的结构和

表示方法227

7.2.1 可编程逻辑器件的结构227

7.2.2 PLD 电路的表示方法228

7.3 存储器230

7.3.1 ROM 的组成原理230

7.3.2 ROM 的分类232

7.3.3 ROM 的应用232

7.4 可编程阵列逻辑(PAL)235

7.4.1 基本的 PAL 电路235

7.4.2 PAL 的几种输出结构和

反馈形式236

7.4.3 PAL 的应用举例238

7.5 通用阵列逻辑(GAL)240

7.5.1 输出逻辑宏单元241

7.5.2 GAL 器件的结构控制字241

7.5.3 输出逻辑宏单元(OLMC)的

组态242

7.6 可擦除的可编程逻辑器件(EPLD)244

7.6.1 EPLD 的基本结构和特点244

7.6.2 EPLD 的与-或逻辑阵列244

7.6.3 EPLD 的输出逻辑

宏单元(OLMC)246

7.7 复杂可编程逻辑门阵列

器件(CPLD)247

7.7.1 嵌入式阵列块(EAB)248

7.7.2 逻辑单元(LE)及逻辑

阵列块(LAB)250

7.7.3 快速通道(FT)253

7.7.4 I/O 单元(IOE)255

7.8 现场可编程逻辑门阵列(FPGA)257

7.8.1 FPGA 的基本结构257

7.8.2 可编程逻辑块(CLB)258

7.8.3 可编程输入/输出块(IOB)259

7.8.4 可编程内部连线(PI)260

7.8.5 编程数据262

7.8.6 FPGA 与 CPLD 的比较262

7.9 可编程逻辑器件开发流程263

小结265

思考题266

习题266

第8章 脉冲波形的产生和整形电路268

概述268

8.1 555 定时器269

8.1.1 555 定时器的电路结构269

8.1.2 555 定时器的基本功能270

8.2 施密特触发器271

8.2.1 555 定时器构成的施密特

触发器271

8.2.2 集成施密特触发器273

8.2.3 施密特触发器的应用275

8.3 单稳态触发器276

8.3.1 555 定时器构成的单稳态

触发器277

8.3.2 集成单稳态触发器279

8.3.3 单稳态触发器的应用282

8.4 多谐振荡器282

8.4.1 555 定时器构成的

多谐振荡器283

8.4.2 石英晶体多谐振荡器285

8.4.3 多谐振荡器的应用286

小结287

思考题288

习题288

第9章 数-模和模-数转换器292

概述292

9.1 D/A 转换器293

9.1.1 倒 T 形电阻网络 D/A

转换器293



9.1.2 权电流型 D/A 转换器	294	10.1 数字系统设计方法	316
9.1.3 双极性输出 D/A 转换器	297	10.1.1 传统的数字系统设计方法 ...	316
9.1.4 D/A 转换器的主要 技术指标	299	10.1.2 现代的数字系统设计方法 ...	319
9.2 A/D 转换器	302	10.2 数字系统设计实例	321
9.2.1 A/D 转换器的基本原理	302	10.2.1 十字路口交通灯控制器	321
9.2.2 并联比较型 A/D 转换器	302	10.2.2 1/100 秒计时控制器	322
9.2.3 反馈比较型 A/D 转换器	305	小结	327
9.2.4 双积分型 A/D 转换器	307	思考题	327
9.2.5 A/D 转换器的主要 技术指标	309	习题	328
小结	311	附录 A 数字系统设计的 VHDL 文件	329
思考题	311	附录 B 基本逻辑单元图形符号 对照表	337
习题	312	附录 C 常用数字系统名词中英文 对照表	339
第 10 章 数字系统设计基础	316	习题答案	342
概述	316	参考文献	371

绪 论

1. 数字电路和模拟电路

在人们生存的环境中，存在着各种各样的物理量，这些物理量有的以电的形式出现，有的以声、光、磁、力等的形式出现。尽管它们的性质各异，但就其变化规律的特点而言，不外乎两大类。

一类是物理量的变化在时间上或数值上是连续的，这一类物理量叫做模拟量。把表示模拟量的信号叫做模拟信号，并把工作在模拟信号下的电子电路称为模拟电路，研究模拟信号的技术就是模拟电子技术。

例如，热电偶在工作时输出的电压信号就属于模拟信号，因为在任何情况下被测温度都不可能发生突变，所以测得的电压信号无论在时间上还是在数量上都是连续的。而且，这个电压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。

另一类是物理量的变化在时间上和数量上是离散的。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。同时，它们的数值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，这一类物理量叫做数字量。把表示数字量的信号叫做数字信号，并且把工作 in 数字信号下的电子电路叫做数字电路，研究有关数字信号的产生、整形、编码、存储、计数和传输的技术就是数字电子技术。

例如，用电子电路记录从自动生产线上送出的零件数目时，每送出一个零件便给电子电路一个信号，使之记 1，而没有零件送出时加给电子电路的信号是 0，不记数。可见，送出零件这个信号无论在时间上还是在数量上都是不连续的，因此它是一个数字信号，最小的数量单位就是 1。

图 0.1 所示为模拟信号和数字信号的电压—时间波形。

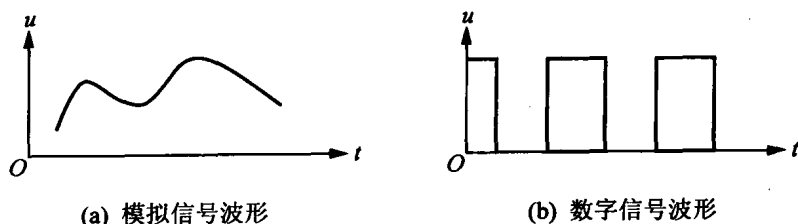


图 0.1 模拟信号和数字信号的电压—时间波形

模拟信号和数字信号之间是可以相互转换的，模拟信号经过取样、量化转换为数字信号的过程称为模数转换(A/D 转换)。对模拟信号进行数字化处理时，只要取样频率大于或等于信号最高频率的两倍，并有足够的二进制位数来表示每一取样信号，就可以用序列二进

制数来表示模拟信号。随着数字电子技术的迅速发展,特别是计算机技术在通信、电子信息处理、自动控制等领域的广泛应用,模拟量与数字量的相互转换变得非常重要。

2. 数字电路的分类和特点

数字电路有多种分类方法,有以下几种。

(1) 按集成度分类:根据电路中集成元件的数目不同,数字电路可分为小规模集成电路(SSI,每片数十个器件)、中规模集成电路(MSI,每片数百个器件)、大规模集成电路(LSI,每片数千个器件)和超大规模集成电路(VLSI,每片器件个数超过一万个)。

(2) 按所用器件制作工艺的不同分类:数字电路可分为双极型集成电路(TTL型)和单极型集成电路(MOS型)两类。

(3) 按照电路的结构和工作原理的不同分类:数字电路可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。组合逻辑电路没有记忆功能,其输出信号只与当时的输入信号有关,而与电路以前的状态无关。时序逻辑电路具有记忆功能,其输出信号不仅与当时的输入信号有关,而且与电路以前的状态有关。

数字电路处理的信号包括反映数字大小的数字量信号和反映事物因果关系的逻辑量信号,它们在时间和数值上都是不连续变化的离散信号,在数字电路中用高、低电平来表示,高电平通常为+3.5 V左右,低电平通常为+0.3 V左右,在运算中则用“1”和“0”来表示,因此,数字电路具有以下特点。

(1) 数字电路所研究的问题是输入的高、低电平与输出的高、低电平之间的因果关系,称为逻辑关系。

(2) 研究数字电路逻辑关系的主要工具是逻辑代数。在数字电路中,输入信号称为输入变量,输出信号称为输出变量,也称逻辑函数,且均为二值量,非“0”即“1”。逻辑函数为二值函数,逻辑代数概括了二值函数的表示方式、运算规律及变换规律。

(3) 由于数字电路的输入与输出变量都只有两种状态,因此组成数字电路的半导体器件绝大多数工作在开关状态。当它们导通时相当于开关闭合,当它们截止时相当于开关断开。

(4) 数字电路不仅可以对信号进行算术运算,而且还能够进行逻辑判断,即具有一定的逻辑运算能力,这使它在数字计算机、数字控制、数据采集和处理及数字通信等领域中获得了广泛的应用。

(5) 因为数字电路的主要研究对象是电路的输入与输出之间的逻辑关系,所以,数字电路也称为逻辑电路。它的一套分析方法也与模拟电路不同,采用的是逻辑代数、真值表、卡诺图、特性方程、状态转换图和时序波形图等。

(6) 由于数字系统所使用的电路是开关电路,开关电路中电压或电流值的精确与否并不重要,重要的是其所处的范围(高或低)。数字系统的精度容易保持一致,信号一旦数字化,在处理过程中所包含的信息不会降低精度。

3. 数字电子技术的发展

数字电路从二十世纪六、七十年代的中小规模集成电路开始起步,通过几十年的发展,经历了大规模集成电路、超大规模集成电路以及大规模专用集成电路的历程。集成电路工艺已从TTL(Transistor Transistor Logic,晶体管-晶体管逻辑电路)电路为主变为以

CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor, 互补金属氧化物半导体存储器)电路为主, 现代电子产品正在以前所未有的速度, 向着功能多样化、体积更小化、功耗最低化迅速发展。现代电子产品设计与传统电子产品设计的显著区别之一就是大量使用大规模可编程逻辑器件, 以提高产品性能、缩小产品体积、降低产品功耗为主要目标; 区别之二就是广泛运用现代计算机技术, 提高电子设计自动化程度, 缩短开发周期, 提高产品的竞争力。

多年来, 数字系统设计包括两个方面, 即系统硬件设计和软件设计。设计人员也因工作性质不同, 被分成硬件设计人员和软件设计人员。他们各自从事各自的工作, 很少涉足对方的领域, 软件设计人员更是如此。随着计算机技术的发展和硬件描述语言 VHDL(Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language)的出现, 这种界限已经被打破。数字系统的硬件构成及其功能可以用 VHDL 语言来描述, 其功能也可以通过相应软件来仿真。这样, 软件设计人员就可以借助 VHDL 语言, 设计出符合要求的硬件系统。利用 VHDL 语言来设计电子系统是设计领域中的一次变革, 对系统的硬件设计产生了巨大的影响。

随着数字电子技术和计算机技术的发展, 数字系统的设计从传统的单纯硬件设计方法变为计算机辅助设计软硬件的方法, 即电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)。EDA 技术是以计算机为工作平台, 以相关的 EDA 开发软件为工具, 以大规模可编程逻辑器件(包括 CPLD、FPGA、EPLD 等)为设计载体, 以硬件描述语言为逻辑描述的主要表达方式, 自动完成系统算法和电路设计, 最终形成电子系统或专用集成芯片的一门新技术。EDA 目前已经成为现代电子系统设计的主要技术手段。

4. 本课程的学习方法

在学习数字电子技术课程的过程中, 学生应掌握数字器件及其电路的工作原理、性能, 学会逻辑分析方法和逻辑设计的基本方法, 具备分析和解决一般数字电子电路问题的能力。因而在本课程的学习过程中, 要根据课程特点, 注意以下两点。

一是提高对本课程重要性的认识。本课程在电类各专业的人才培养中具有十分重要的地位和作用, 本课程中所学习的元器件和基本电路在工程实践中具有广泛的实用价值。因此, 本课程是计算机信息类、电子类、仪器仪表类、机电类等专业的主干课程, 必须认真学习。

二是理论联系实际, 重视实践环节。本课程是实践性很强的课程, 学习的目的在于应用, 强调理论联系实际显得尤为重要。实践教学环节(包括实验、电子实训及实习等)是培养能力、实现知识向能力转化的重要途径。能力的培养对学生十分重要, 具有较强的实践动手能力是应用型人才在社会上立足的条件之一。

要学好本课程应注意掌握好以下学习方法。

(1) 在数字集成电路中, 所有变量都可用“0”和“1”两个对立状态来表示。因此在讨论集成电路的过程中只需关心电平的高和低, 信号的有和无, 而不需关心某个变量数值的大小。

(2) 重点掌握集成逻辑单元和逻辑部件的功能、使用方法及其功能扩展。数字集成电路种类虽然很多, 但只要掌握了数字集成电路的分析方法和设计方法, 理解数字集成电路的功能是不难的。

(3) 逻辑代数是分析研究数字电路的工具, 它主要研究输入和输出变量之间的逻辑关



系, 所以应掌握逻辑函数的基本运算与化简方法。

(4) 实验技能的训练在课程中占有特别重要的地位, 应认真完成课程中的每一项实验和技能训练。应通过亲手组装和调试电路、排除故障、验证结果等实践过程, 使课程内容得到进一步的理解和巩固, 同时也提高自己从事电子技术工作的实际本领。

数字电子技术课程是高等院校电类各专业的必修基础课, 是一门理论和实践紧密结合的课程。通过本课程的学习, 学生能够掌握各种基本功能电路的组成、工作原理、性能特点, 熟悉常用电子仪器的正确使用方法; 具备查阅电子元器件手册及合理选用元器件的能力; 能够识读常见数字电子线路图, 具有测试常用数字电子电路性能及排除故障的能力。学习时应注意掌握数字电路的基本分析方法和设计方法, 能应用所学的知识去分析和解决从工程中抽象出的逻辑问题, 为后续课程的学习和今后从事实际工作打下必要的基础。

第 1 章 逻辑代数基础

【教学目标】

通过本章的学习, 在理解数字电路几种常见的数制和码制以及逻辑代数的基本概念、公式、定理的基础上, 重点掌握逻辑函数的 4 种表示方法及其相互转换以及逻辑函数的化简方法, 从而为分析和设计数字电路奠定基础。

卡诺图法化简逻辑函数是本章的重点和难点。

本章作为数字电子技术的基础, 主要介绍了逻辑代数的基础知识, 包括数制和码制, 几种常用数制之间的转换, 算术运算和逻辑运算; 基本逻辑运算, 逻辑代数的基本公式和基本定理, 逻辑函数的表示方法, 重点讨论了逻辑函数的公式法化简方法、卡诺图法化简方法和具有无关项逻辑函数的化简方法。本章还简单介绍了 EDA(电子设计自动化)的基础知识, 包括 VHDL 硬件描述语言及 Multisim 8.0 软件。

概 述

人们在日常工作和学习中经常接触到各种数据, 为了记录和交流的方便, 发明了多种不同的计数方法, 如现在广泛使用的十进制数, 钟表计时采用的六十进制数, 计算机系统中采用的二进制数和十六进制数等。讨论数制的问题, 主要是从计算机的角度来研究数的表示方法及其特点, 同时在实际生产和生活中, 各种数制之间经常还需要相互转换。

逻辑代数又称为布尔代数, 它是由英国数学家乔治·布尔(George Boole)在 1849 年首先提出并应用于描述客观事物逻辑关系的数学方法。由于它首先应用于电话继电器开关电路, 所以逻辑代数有时也称为开关代数。逻辑代数和普通代数一样, 都是用字母表示变量, 用代数式描述客观事物间的逻辑关系, 所不同的是逻辑代数是描述客观事物间的逻辑关系, 因此其变量和函数的取值都只有两种可能性, 即“1”或“0”。这里的逻辑“1”和“0”不再具有数量大小的意义, 只是表示两种不同的逻辑状态。在数字系统中, 开关的接通和断开、电位的高与低、信号的有和无以及二极管的导通和截止等, 凡是具有两种稳定的物理状态的事物, 都可以用“1”和“0”两种不同的逻辑值来表征。

1.1 数制和码制

1.1.1 数制

数制(Number System)是人类表示数值大小的各种方法的统称。用数字量表示物理量的大小时, 一位数码往往不够用, 所以需要采用进位计数的方法组成多位数码, 多位数码中

每一位的构成方法及从低位到高位进位的规则即为数制,也称为进位计数制。在数制中,同一个数码在不同的数位上所表示的数值是不同的,所以进位计数制可以用少量的数码表示较大的数,因而被广泛采用。进位计数制涉及两个基本概念,即进位基数和数位的权值。

进位计数制中规定数位的权值,即使用的数码符号的个数称为该进位计数制的进位基数或进位模数,记作 R 。例如十进制,每个数位规定使用的数码符号为 $0,1,\dots,9$,共 10 个,故其进位基数 $R=10$ 。某个数位上数码为 1 时所表征的数值,称为该数位的权值,简称“权”。各个数位的权值均可表示成 R^i 的形式,其中 R 是进位基数, i 是各数位的序号。 i 按如下方法确定:整数部分,以小数点为起点,自右向左依次为 $0,1,2,\dots,n-1$,小数部分,以小数点为起点,自左向右依次为 $-1,-2,\dots,-m$ 。 n 是整数部分的位数, m 是小数部分的位数。某个数位上的数码 a_i 所表示的数值等于数码 a_i 与该位的权值 R^i 的乘积。例如, R 进制的数 $(N)_R = a_{n-1}a_{n-2}\dots a_2a_1a_0a_{-1}a_{-2}\dots a_{-m}$ 可以写成如下多项式的形式:

$$\begin{aligned}(N)_R &= a_{n-1}R^{n-1} + a_{n-2}R^{n-2} + \dots + a_2R^2 + a_1R^1 + a_0R^0 + a_{-1}R^{-1} + a_{-2}R^{-2} \dots a_{-m}R^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i R^i\end{aligned}$$

常用的进位计数制有十进制、二进制、八进制和十六进制。

1. 十进制(Decimal)

十进制是日常生活和工作中最常用的进位计数制。在这种进位计数制中,每个数位规定使用的数码为 $0,1,2,\dots,9$,共 10 个。

十进制用下标 10 或 D 表示,如 $(143.75)_D$,也可以按权展开,例如:

$$(368.258)_D = 3 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2} + 8 \times 10^{-3}$$

十进制数人们最熟悉,但在数字电路中实现起来较困难。

2. 二进制(Binary)

在二进制中,每个数位规定使用的数码为 0 和 1,共 2 个,故其进位基数 R 为 2。其计数规则是“逢二进一”。各位的权值为 2^i , i 是各数位的序号。

二进制数用下标 2 或 B 表示,例如:

$$(1011.01)_B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

二进制数由于只需两个态,机器实现容易,因而二进制代码是数字系统唯一认识的代码,但二进制代码书写时太长。

3. 八进制(Octal)

在八进制中,每个数位上规定使用的数码为 $0,1,2,3,4,5,6,7$,共 8 个,故其进位基数 R 为 8。其计数规则为“逢八进一”。各位的权值为 8^i , i 是各数位的序号。

八进制数用下标 8 表示,例如:

$$(752.34)_8 = 7 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 3 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2}$$

因为 $2^3=8$,因而 3 位二进制数可用 1 位八进制数表示。

4. 十六进制(Hexadecimal)

在十六进制中, 每个数位上规定使用的数码符号为 0,1,2,...,9,A,B,C,D,E,F, 共 16 个, 故其进位基数 R 为 16。其计数规则为“逢十六进一”。各位的权值为 16^i , i 是各个数位的序号。

十六进制数用下标 16 或 H 表示, 例如:

$$\begin{aligned}(BD2.3C)_H &= B \times 16^2 + D \times 16^1 + 2 \times 16^0 + 3 \times 16^{-1} + C \times 16^{-2} \\ &= 11 \times 16^2 + 13 \times 16^1 + 2 \times 16^0 + 3 \times 16^{-1} + 12 \times 16^{-2}\end{aligned}$$

因为 $2^4=16$, 所以 4 位二进制数可用 1 位十六进制数表示。

 **注意:** 在计算机系统中, 二进制主要用于机器内部的数据处理, 八进制和十六进制主要用于书写程序, 十进制主要用于运算最终结果的输出。表 1.1 列出上述四种常用数制的对照关系。

表 1.1 四种常用数制的对照关系

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0	0	0	9	1001	11	9
1	1	1	1	10	1010	12	A
2	10	2	2	11	1011	13	B
3	11	3	3	12	1100	14	C
4	100	4	4	13	1101	15	D
5	101	5	5	14	1110	16	E
6	110	6	6	15	1111	17	F
7	111	7	7	16	10000	20	10
8	1000	10	8	17	10001	21	11

1.1.2 几种常用数制之间的转换

1. 将 R 进制数转换成十进制数

将 R 进制数(包括二进制、八进制和十六进制)转换为十进制数时, 只要将 R 进制数按权展开, 然后将各项数值按十进制数相加, 便可得到等值的十进制数。

【例 1-1】 将二进制数 $(10110.11)_2$ 转换为十进制数。

解:

$$\begin{aligned}(10110.11)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 16 + 4 + 2 + 0.5 + 0.25 \\ &= (22.75)_{10}\end{aligned}$$

同理, 将任意进制数转换为十进制数时, 只需将数写成按权展开的多项式表示式, 并按十进制规则进行运算, 便可求得相应的十进制数。



【例1-2】 将八进制数 $(256.53)_8$ 转换为十进制数。

解:

$$\begin{aligned}(256.503)_8 &= 2 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} + 0 \times 8^{-2} + 3 \times 8^{-3} \\ &= 128 + 40 + 6 + 0.625 + 0.005859375 = (174.630859375)_{10}\end{aligned}$$

【例1-3】 将十六进制数 $(7A.58)_{16}$ 转换为十进制数。

解:

$$\begin{aligned}(7A58)_{16} &= 7 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 5 \times 16^{-1} + 8 \times 16^{-2} \\ &= 112 + 10 + 6 + 0.3125 + 0.03125 = (122.34375)_{10}\end{aligned}$$

2. 将十进制数转换成 R 进制数

将十进制数转换为 R 进制(包括二进制、八进制和十六进制)数时, 需要将十进制数的整数部分和小数部分分别进行转换, 然后再将两部分合并起来。

1) 整数部分

将十进制数的整数部分转换为 R 进制时, 一般采用辗转相除法, 即将该十进制数逐次除以基数 R , 然后取余数的方法, 具体步骤如下。

(1) 将给定的十进制数的整数部分除以 R , 余数就是 R 进制数的最低位(Least Significant Bit, LSB)。

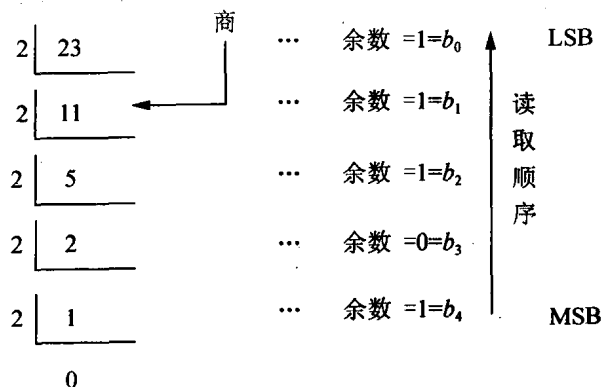
(2) 把步骤(1)得到的商再除以 R , 余数就是 R 进制数的次低位。

(3) 重复步骤(2), 不断得到余数, 直到最后商为 0, 则此时的余数就是 R 进制数的最高位(Most Significant Bit, MSB)。

【例1-4】 将十进制数 $(23)_{10}$ 转换成二进制数。

解:

将十进制数转换为二进制数, 应当采取“除 2 取余”的方法, 按如下步骤转换。



则 $(23)_{10} = (10111)_2$ 。

【例1-5】 将十进制数 $(587)_{10}$ 转换成八进制数。

解:

将十进制数转换为八进制数, 应当采取“除 8 取余”的方法, 按如下步骤转换。