



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数字电子技术基础

胡晓光 主编 崔建宗 王建华 副主编



北京航空航天大学出版社

策划编辑：沈 涛
封面设计：红主题企划

ISBN 978-7-81077-998-2



9 787810 779982 >

2007

定价：22.00元

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

TN79

140

2007

数字电子技术基础

胡晓光 主 编 崔建宗 王建华 副主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

《数字电子技术基础》这本教材,凝聚了多年的教学积累和精华,并坚持以“学”为中心的教学理念,提出探索问题,引导学生自主学习为出发点而编写。教材的结构是由问题探究、课程导论和主体内容三部分组成。全书共分7章。第1章逻辑代数基础,第2章门电路,第3章组合数字电路,第4章触发器和定时器,第5章时序数字电路,第6章大规模集成电路,第7章数模与模数转换器。书中还配有适量习题和仿真实例。

本书适合普通高等工科学校和大中专院校的电子、电气、自控类专业作教材,也可供从事这方面工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/胡晓光主编. —北京:北京航空航天大学出版社,2007.3

ISBN 978-7-81077-998-2

I. 数… II. 胡… III. 数字电路-电子技术-高等院校-教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 020445 号

数字电子技术基础

胡晓光 主编 崔建宗 王建华 副主编

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpess@263.net

北京宏伟双华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:16 字数:358千字

2007年3月第1版 2007年3月第1次印刷 印数:5000册

ISBN 978-7-81077-998-2 定价:22.00元

前 言

数字电子技术基础是高等学校工科电类各专业的一门重要技术基础课,它具有较强的理论性, also 具有很强的工程实践性,是培养大学生学习现代电子技术理论和实践知识的入门性课程。

基于本课程的上述特点,为顺应培养创新型人才的要求,编写小组将长期在教学中取得的教学成果和积累的经验融入到教材编写之中。在教学中我们提出基于建构主义的教学模式,建构主义的学习理论和教学理论是以“学”为中心的教学设计的理论基础,强调学生对知识的主动探索、主动发现和对所学知识意义的主动建构,教材的构思围绕这个中心思想展开。

首先,在课程绪论里给出问题探究题目,这些题目是针对课程学习的重点、难点提出来的,题目多数是要通过整个课程的学习和研究才可以得出研究结果。然后,在每一章开始部分还是问题探究,以此引导学生自发建构学习平台,实现自主学习的目的。

接下来是课程导论,有该课程的前导课程、学习者必备知识和技能、课程教学内容简介等。这些提示性内容一方面可以帮助学习者得到研究问题的思路和方法,另一方面也有助于学生在学习过程中更快、更准确将当前的学习与原有的知识建立联系,使课程的学习体现出累积性、目标指引等特征。

最后,是教材主体内容,根据建构主义学习特征,应能满足学习者自主性学习的要求。如建构主义学习理论教学方法之一——“随机进入”教学模式,是由于事物的复杂性和问题的多面性所决定的。要做到对事物内在性质和事物之间相互联系的全面了解和掌握、即真正达到对所学知识的全面而深刻的意义建构是很困难的,往往从不同的角度考虑可以得出不同的理解。为克服这方面的弊病,在教学中就要注意对同一教学内容,要在不同的时间、不同的情境下、为不同的教学目的、用不同的方式加以呈现。为此本书增加了举例和训练内容,如开始学习逻辑事件与逻辑函数时,我们就用“加法器、译码器和数据选择器等”做例子,进行逻辑抽象和逻辑函数表达的课堂教学;到学习基本逻辑器件我们仍然提出加法器、译码器和数据选择器等的实现方案;而学习由基本逻辑器件构成的数字电路时,我们就自然讲到集成加法器、译码器和数据选择器等;接下来学习由基本数字电路构成的简单数字电路应用系统时,可以采用加法器、译码器和数据选择器等组合构成。这样的教材结构会使学习循序渐进,由浅入深。

为了方便教师和同学的教学与学习,每一章的后面都配有适量的习题,习题的难度由浅到深,读者可以根据实际情况选用。

本书由胡晓光任主编,崔建宗和王建华任副主编。我们的这一新尝试,需要在教学实践中不断地加以完善和提高,编者真诚地希望广大教师和读者对本教材提出宝贵意见。

编者于北京航空航天大学

2007年01月

绪 论

1. 电子技术的发展

电子技术是研究电子器件和电子电路工作原理及其应用的一门科学技术,是高等院校理工科学生必修的技术基础课程。

电子器件经历了第一代电子管、第二代半导体器件和第三代集成电路后,电子元器件的发展更加日新月异。

2. 模拟电路和数字电路

电子电路中的信号分为模拟信号与数字信号两大类。模拟信号是指随时间连续变化的物理量,如电压、电流、温度和流量等,并可以用计量仪器测量出某个时刻模拟量的瞬时值和有效值。数字信号是指随时间断续变化的信号。一般来说,数字信号是在两个稳定状态之间阶跃式变化的信号。模拟量和数字量之间可以转换,只要它们之间建立起一定的转换关系。例如,可以通过计算数字信号变化的次数来得到相应的模拟量,而不需要知道数字信号每次变化的具体大小,或者研究数字信号之间的编排方式就可以了。

处理模拟信号电子电路是模拟电路。模拟电路研究各种模拟电子器件及模拟信号的变换、控制、测量和应用等内容。模拟电路主要有放大电路、振荡电路、运算电路、有源滤波电路、整流稳压电路、反馈电路,以及混频、调制解调等非线性电路。

模拟电路具有如下特点:

① 模拟电路处理的是连续变化的电信号,人们的日常生活、生产等活动与模拟信号的联系特别密切,所以,模拟电子电路的应用十分广泛。

② 模拟电路中的器件往往工作在放大状态,因而电路的灵敏度比较高;但也容易受到干扰信号的影响。

③ 在模拟与数字电子电路的复合系统中,需要在模拟—数字、数字—模拟信号间进行变换,其中少不了模拟电路,而且技术难点往往在模拟电路。

④ 许多模拟电路便于集成,可较大地降低成本,减小体积。

⑤ 模拟信号相对数字信号而言,不便于处理和存储。

处理数字信号电子电路是数字电路。数字电路研究各种逻辑器件和各种数字电路,以及研究数字信号的变换、存储、测量和应用等内容。

数字电路具有如下特点:

① 数字电路中的器件往往工作于开关(饱和和截止)状态,因而电路的稳定性好,可靠性高。

② 电路只须识别信号的有无,这样就便于扩充数字的位数以获得较高的灵敏度。

③ 数字信号便于处理和存储。

④ 数字电路便于集成,可大大降低成本,减小体积。数字电路的集成水平一般都高于模拟电路。

⑤ 便于采用数字计算机或微处理机来处理信息和参与控制。

上述特点使数字电路迅速发展,成为电子电路发展的主流,一些原来由模拟电路完成的工作,在新技术的支持下,用数字电路也可以实现。但模拟电路和数字电路两者不是对立的关系,而是互相依存的关系,不可能一种电路完全取代另一种电路,两者的应用领域各不相同。

3. 本课程的学习建议

电子技术课程具有自己鲜明的特点,它不像数学、物理等基础课,讨论的问题理论性强,计算严格。电子技术是一门介于基础课和专业课之间的搭桥型的课程。电子技术课的实践性很强。电子技术课程有它自身的理论体系,但在分析问题和进行计算时具有工程的特点,经常忽略一些次要的因素,可以进行简化计算。这与基础课处理问题的方式有较大的不同。

读者在刚刚学习电子技术课程时,会有一些不习惯。对于电子电路中所用的电子器件,只介绍这些器件的基本性能,着重外部特性的介绍;对电子器件内部的物理过程只要求一般了解。对电子器件的了解,以能够正确分析电子电路和正确使用器件为目标。学习本课程,主要应该掌握本课程的基本概念、基本知识和基本的分析方法,从而学会分析电子电路中的问题和实验中的现象。

读者应该十分重视电子技术课程的实验。一方面应该加强课程内容与实验的联系,通过实验进行学习;另一方面在实验中会学习到许多有用的实际知识。不但要学会传统的分析和测试电子电路的基本方法,也要学会现代化的分析测试手段,这是对电子电路性能指标进行客观评价的必经之路。同时需要通过及时复习、做习题帮助建立正确的基本概念。

4. 问题探究

(1) 如何制作一个三人表决器或多人表决器?

(2) 如何制作一个定时电路来控制水的温度?

(3) 如何设计一个倒计时电路?

(4) 如何设计一个双音频电子门铃电路?

(5) 如何设计一个自动投币售水机的控制电路?

(6) 如何设计一个交通红绿黄灯的循环显示控制电路?

(7) 如何设计一个三位十进制显示电路,并对设计方法与技巧进行研究,并用 proteus 仿真平台验证?

(8) 如何分析与化简一个包含任意项的逻辑函数?

(9) TTL 系列与 CMOS 系列的门电路及芯片的特性有什么不同?使用时应注意什么?

(10) 门电路的动作时间延迟会给电路带来什么影响?怎样消除这些影响?分别讨论组

合电路和时序电路的两种情况。

(11) 为什么要设计“OC”门？其性质与应用技巧怎样？

(12) 如何实现代码的灵活转换及对加法器的灵活应用研究？

(13) GAL 的设计方法与仿真研究。

(14) 如何将输入模拟量转换成数字量？如何将输出的数字量转换成模拟量以便驱动后续电路？又如何衡量转换的精度？

(15) 数字电路与模拟电路性能对比研究。

目 录

第 1 章 逻辑代数基础	1
1.1 导 论	1
1.1.1 模拟信号与数字信号	2
1.1.2 二进制的算术运算	2
1.2 逻辑运算	3
1.2.1 基本逻辑运算	3
1.2.2 组合逻辑运算	5
1.3 公式和定理	6
1.3.1 常量与常量之间的关系	6
1.3.2 变量与常量之间的关系	7
1.3.3 特殊定理	7
1.3.4 与普通代数相似的定理	7
1.3.5 几个常用公式	7
1.4 基本规则	8
1.4.1 代入规则	8
1.4.2 对偶规则	8
1.4.3 反演规则	9
1.5 用代数法化简逻辑式	9
1.5.1 同一逻辑关系逻辑式形式的多样性	10
1.5.2 “与或”型逻辑式的化简步骤	10
1.6 最小项和最大项	12
1.6.1 最小项和最大项的定义	12
1.6.2 最小项和最大项的性质	13
1.6.3 “与或”标准型和“或与”标准型	14
1.7 卡诺图化简法	14
1.7.1 卡诺图	14
1.7.2 与项的读取和填写	16
1.7.3 如何使“与”项最简	20

1.7.4 卡诺图化简的结论	20
1.8 逻辑函数的变换	22
1.8.1 五种类型的逻辑函数	22
1.8.2 “与或”型转换为“与非与非”型	23
1.8.3 “与或”型转换为“或与”型	24
1.8.4 “与或”型转换为“或非或非”型	24
1.8.5 “与或”型转换为“与或非”型	24
习 题	25
第2章 门电路	29
2.1 导 论	29
2.1.1 半导体二极管的开关特性	30
2.1.2 半导体三极管的开关特性	31
2.2 分立元件门电路	34
2.2.1 与 门	34
2.2.2 或 门	36
2.2.3 非门(反相器)	36
2.3 集成门电路(TTL)	37
2.3.1 TTL 与非门电路结构	37
2.3.2 电路的逻辑功能	38
2.3.3 特性曲线	39
2.3.4 参数与指标	45
2.4 其他类型 TTL 门	47
2.4.1 集电极开路门(OC 门)	47
2.4.2 三态门	50
2.5 CMOS 逻辑门	51
2.5.1 CMOS 反相器	52
2.5.2 CMOS 与非门电路	54
2.5.3 CMOS 传输门	55
2.5.4 CMOS 门的参数指标	57
习 题	59
第3章 组合数字电路	62
3.1 导 论	62

3.1.1 概 述	62
3.1.2 数制和码制	63
3.2 组合数字电路的分析	67
3.2.1 分析半加器	67
3.2.2 分析异或门	68
3.2.3 分析全加器	69
3.3 组合数字电路的设计	72
3.3.1 半加法器设计	72
3.3.2 全加器设计	72
3.4 常用组合集成逻辑电路	75
3.4.1 集成四位超前进位全加器	75
3.4.2 译码器	77
3.4.3 编码器	87
3.4.4 数据选择器	91
3.4.5 数码比较器	95
3.5 竞争与冒险	98
3.5.1 竞争与冒险的基本概念	98
3.5.2 冒险的分类	98
3.5.3 竞争冒险判别式	100
3.5.4 竞争冒险的确定方法	100
3.5.5 竞争冒险的消除	101
习 题	103
第 4 章 触发器和定时器	107
4.1 导 论	108
4.1.1 时序数字电路的定义	108
4.1.2 触发器的分类和逻辑功能	108
4.2 基本 RS 触发器	109
4.2.1 基本 RS 触发器的工作原理	109
4.2.2 两个稳态	109
4.2.3 触发翻转	110
4.2.4 真值表和特征方程	110
4.2.5 状态转换图	111
4.2.6 集成基本 RS 触发器	111

4.3	同步时钟 RS 触发器	112
4.3.1	同步时钟触发器引出	112
4.3.2	同步 RS 时钟触发器的结构和原理	113
4.3.3	同步 RS 时钟触发器的特征方程	113
4.3.4	波形及空翻现象	114
4.3.5	状态转换图	114
4.4	维持阻塞 D 触发器	114
4.4.1	维持阻塞 D 触发器的电路结构	114
4.4.2	维持阻塞 D 触发器的工作原理	115
4.4.3	特征表和特征方程	116
4.4.4	状态转换图和时序图	116
4.4.5	边沿集成 D 触发器	117
4.5	边沿 JK 触发器	118
4.5.1	边沿 JK 触发器的结构与原理	118
4.5.2	特征表和特征方程	119
4.5.3	状态转换图和时序图	119
4.5.4	逻辑符号	119
4.5.5	集成边沿 JK 触发器	120
4.6	555 定时器	120
4.6.1	概 述	120
4.6.2	单稳态触发器	122
4.6.3	多谐振荡器	122
4.6.4	施密特触发器	124
4.6.5	压控振荡器	124
习 题		125
第 5 章	时序数字电路	130
5.1	导 论	130
5.2	时序电路分析	132
5.2.1	同步电路分析	132
5.2.2	异步电路分析	134
5.3	同步时序数字电路的设计	135
5.3.1	同步计数器设计	135
5.3.2	时序逻辑问题设计	138

5.4 常用时序逻辑器件	145
5.4.1 寄存器和移位寄存器	145
5.4.2 计数器	149
5.4.3 用集成计数器实现任意进制计数器	160
5.4.4 用 VHDL 语言描述时序电路	170
习 题	172
第 6 章 大规模集成电路	178
6.1 导 论	178
6.2 只读存储器 ROM	179
6.2.1 ROM 的结构和工作原理	179
6.2.2 ROM 的分类	181
6.2.3 ROM 的应用	184
6.3 随机存储器	184
6.3.1 RAM 的结构和原理	184
6.3.2 RAM 的存储单元	185
6.3.3 集成 RAM	186
6.4 可编程逻辑器件概述	187
6.4.1 PLD 的发展	187
6.4.2 PLD 的分类和特点	188
6.4.3 实现可编程的基本方法	189
6.5 通用阵列逻辑 GAL	193
6.5.1 概 述	193
6.5.2 GAL 的结构	193
6.5.3 通用阵列逻辑 GAL 的编程	197
6.5.4 ispLSI 器件的编程语言简介	197
6.5.5 数字小系统的设计及实现	202
6.6 现场可编程门阵列 FPGA	208
6.6.1 FPGA 的基本结构	209
6.6.2 FPGA 的编程	210
习 题	215
第 7 章 数模与模数转换器	218
7.1 导 论	218

7.2 DA 转换器	219
7.2.1 倒 T 型电阻解码网络 DA 转换器	219
7.2.2 集成 DA 转换器 AD7524	220
7.2.3 DA 转换器的转换精度与转换时间	221
7.3 AD 转换器	222
7.3.1 AD 转换的基本概念	222
7.3.2 并行比较型 AD 转换器	225
7.3.3 逐次逼近型 AD 转换器	227
7.3.4 双积分型 AD 转换器	230
7.3.5 AD 转换器的转换精度与转换时间	233
7.4 多路模拟开关	233
7.4.1 模拟开关的功能及电路组成	233
7.4.2 模拟开关的各种工作模式	234
7.5 数据采集系统简介*	235
7.5.1 系统的技术要求	235
7.5.2 系统方框图	235
7.5.3 电路设计	236
习 题	239
参考文献	241

第 1 章 逻辑代数基础

内容提要:本章介绍数字电路的学习工具——逻辑代数。逻辑代数包括基本逻辑运算、形式定理和基本规则。讨论逻辑函数的化简和变换,以及最小项、最大项的概念和性质等。几种常用逻辑函数的表示方法及其相互间的转换。

问题探究

(1) 在测量温度时,温度传感器输出的电压信号属于模拟信号。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具有具体的物理意义,即表示一个相应的温度。

若用电子计数器记录客流量,当有人通过时,给计数器一个信号使之加 1;没有人通过时,给计数器的信号是 0。可见计数这个信号无论在时间上还是在数量上都是不连续的,因此,它是一个离散信号。你能找出几种具有这两种特征的信号吗?

(2) 如果数字量表示的是事件的逻辑状态,则图 1.1 所示的灯控电路中,开关 A 和 B 的开与合决定了灯 P 的亮或灭,而开关 A 和 B 只有两种取值。若取 1 为开关闭合,取 0 为开关打开,则灯 P 的亮为 1,灭为 0,显然这些都是数字量。 A 和 B 可以有不同的取值,既可以同时为 1 或 0,也可以 A 为 1 而 B 为 0,也可以 A 为 0 而 B 为 1,其结果是灯 P 亮或灭。研究 A 和 B 的取值组合与 P 的因果关系,并进一步研究其他数字量之间的因果关系。

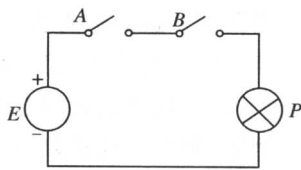


图 1.1 灯控电路

1.1 导 论

本书讨论的是数字电路,电路中的信号是数字信号。数字信号是离散的脉冲信号,属于双值逻辑信号。对数字电路中的信号进行分析、运算所使用的数学工具是逻辑代数,也称布尔代数。布尔代数起源于 19 世纪 50 年代,是英国数学家 G. Boole 首先提出的。1938 年,Shannon 又把它发展成适合于分析开关电路的形式。布尔代数也称为开关代数。

1.1.1 模拟信号与数字信号

电子电路中的信号分为模拟信号与数字信号两大类。模拟信号是指随时间连续变换的物理量,如电压、电流、温度和亮度等。可以用计量仪器测量出某个时刻模拟量的瞬时值,或某一段时间之内的平均值,或有效值。

数字信号是指随时间断续变化的信号。一般地说,数字信号是在两个稳定状态之间阶跃式变化的信号;或者说数字信号是规范化了的矩形脉冲信号。模拟量和数字量之间可以转换,但前提是它们之间应建立起一定的转换关系。例如,可以通过计算数字信号变化的次数来得到相应的模拟量,而不须知道数字信号每次变化的具体大小。如果把数字信号看成是一种脉冲信号,只要计算脉冲的个数,或者研究脉冲之间的编排方式就可以了。

在数字电路中,数字的表示方法与人们习惯的十进制有很大的不同。数字电路中,目前都是采用二进制,这是因为实现数字电路的器件是与二进制相对应的。例如,二极管的正向导通和反向截止,三极管的饱和与截止,都正好与二进制相对应。二进制系统也称之为双值逻辑系统。用这些器件与双值逻辑系统的二进制相对应,容易实现各种逻辑电路的功能。所以,数字电路中用二进制的“0”、“1”或“0”、“1”的不同组合来表示数字信号,并遵循二进制的运算规则。

1.1.2 二进制的算术运算

数字电路中,一位二进制数码的0和1不仅可以表示数量的大小,而且可以表示两种不同的逻辑状态。可以用1和0分别表示一件事情的是和非、真和假、有和无、好和坏,或者表示电路的通和断、电灯的亮和灭等。

当两个二进制数码表示两个数量大小时,它们之间可以进行数值运算。这种运算成为算术运算。二进制算术运算和十进制算术运算的规则基本相同,唯一的区别在于二进制数是逢二进一,而不是十进制的逢十进一。

例如,两个二进制数1001和0101的算术运算如下:

加法运算	减法运算	乘法运算	除法运算
$\begin{array}{r} 1001 \\ +0101 \\ \hline 1110 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1001 \\ -0101 \\ \hline 0100 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1001 \\ \times 0101 \\ \hline 1001 \\ 0000 \\ 1001 \\ 0000 \\ \hline 0101101 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1.11 \\ 0101 \overline{)1001} \\ \underline{0101} \\ 1000 \\ \underline{0101} \\ 0110 \\ \underline{0101} \\ 0010 \end{array}$

在数字电子计算机中,二进制的正负号也用0和1表示,以最高位作为符号位,正数为0,负数为1。以下各位为0和1表示数值。用这种方式表示的数码称为原码。