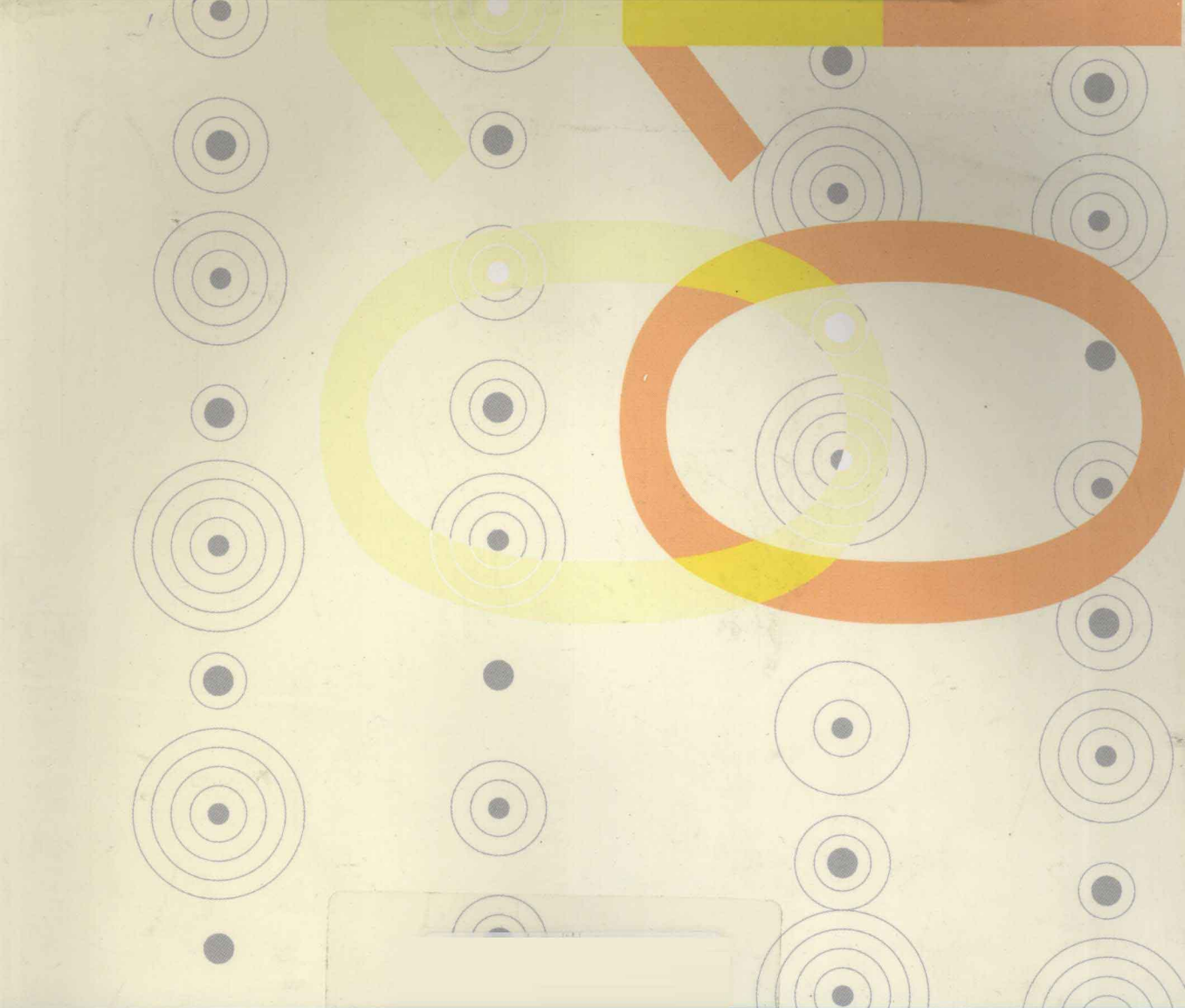




01

数字电子技术基础

高等教育出版社

北京航空航天大学电工电子教学实验中心 编
胡晓光 主编 崔建宗 王建华 副主编



普通高等教育「十五」国家级规划教材

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,凝聚了编者多年的教学积累和精华,将大量教学实践中的心得笔记融于教材,使教材结构新颖,可读性强。并坚持以“学”为中心的教学理念,每章提出探索问题,引导学生自主学习。

教材结构由问题探究、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章存储器及大规模集成电路,第7章数模与模数转换器。书中还配有适量的习题、硬件描述语言和仿真实例,在可编程逻辑器件部分与实验平台相结合阐述编程设计过程。设有附录 VHDL 的基本结构与语法规则供学习者参考。

本书适合作为普通高等工科学校和大中专院校的电子、电气、自控类专业教材,也可供从事电子技术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;北京航空航天大学
电工电子教学实验中心编. —北京:高等教育出版社,
2010.6

ISBN 978-7-04-029084-4

I. ①数… II. ①胡… ②北… III. ①数字电路 -
电子技术 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 064899 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京市联华印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 18.75
字 数 420 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 6 月第 1 版
印 次 2010 年 6 月第 1 次印刷
定 价 25.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29084-00

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,同时也具有很强的工程实践性,是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,多数题目需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“导论”,有该章的前导课程、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、更准确地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,是该章主体内容,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。

为了方便教师的教学和学生的学习,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。教材由哈尔滨工业大学王淑娟教授审阅,同时教材在编写过程中得到哈尔滨工业大学电子学教研室的大力支持,编者在编写教材时采纳了他们的许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

这种教材编写的新思路,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

2009年12月16日

目 录

绪论	1	1.7 卡诺图化简法	22
第1章 逻辑代数基础	3	1.7.1 卡诺图	22
问题探究	3	1.7.2 与项的读取和填写	23
1.1 导论	4	1.7.3 如何使与项最简	26
1.1.1 数字信号的特点	4	1.7.4 卡诺图化简的结论	27
1.1.2 二进制的算术运算	4	1.7.5 具有约束条件的逻辑 函数化简	29
1.1.3 数制和码制	5	1.8 逻辑函数的变换	30
1.2 逻辑运算	9	1.8.1 五种类型的逻辑函数	30
1.2.1 基本逻辑运算	9	1.8.2 与或型转换为与非 与非型	31
1.2.2 组合逻辑运算	11	1.8.3 与或型转换为或与型	32
1.3 公式和定理	12	1.8.4 与或型转换为或非或 非型	32
1.3.1 常量与常量之间的关系 ...	12	1.8.5 与或型转换为与或非型 ...	32
1.3.2 变量与常量之间的关系 ...	12	*1.9 逻辑式的最佳化	33
1.3.3 特殊定理	13	1.9.1 逻辑式最佳化的概念	33
1.3.4 与普通代数相似的定理 ...	13	1.9.2 异或门实现最佳化	33
1.3.5 几个常用公式	13	1.9.3 实现最佳化的一般方法 ...	34
1.4 基本规则	14	习题	35
1.4.1 代入规则	14	第2章 门电路	39
1.4.2 对偶规则	14	问题探究	39
1.4.3 反演规则	15	2.1 导论	40
1.5 用代数法化简逻辑式	16	2.1.1 半导体二极管的开关 特性	40
1.5.1 同一逻辑关系逻辑式 形式的多样性	16	2.1.2 半导体三极管的开关 特性	42
1.5.2 与或型逻辑式的化简 步骤	17	2.2 分立元件门电路	45
1.6 最小项和最大项	19	2.2.1 与门	45
1.6.1 最小项和最大项的定义 ...	19	2.2.2 或门	46
1.6.2 最小项和最大项的性质 ...	20		
1.6.3 与或标准型和或与 标准型	21		

2.2.3 非门(反相器)	46	3.4.2 译码器	90
2.3 集成门电路(TTL)	47	3.4.3 编码器	102
2.3.1 TTL与非门电路结构	47	3.4.4 数据选择器	106
2.3.2 电路的逻辑功能	48	3.4.5 数码比较器	111
2.3.3 特性曲线	49	3.5 竞争与冒险	114
2.3.4 参数与指标	55	3.5.1 竞争与冒险的基本概念	114
2.4 其他类型TTL门	57	3.5.2 冒险的分类	115
2.4.1 集电极开路门(OC门)	57	3.5.3 竞争冒险判别式	116
2.4.2 三态门	59	3.5.4 竞争冒险的确定方法	117
2.4.3 与或非门、或非门和 异或门	61	3.5.5 竞争冒险的消除	118
2.4.4 TTL系列门标准参数	63	习题	120
2.5 CMOS逻辑门	64	第4章 触发器和定时器	124
2.5.1 CMOS反相器	65	问题探究	124
2.5.2 CMOS与非门电路	67	4.1 导论	125
2.5.3 CMOS传输门	68	4.1.1 时序数字电路的定义	125
2.5.4 CMOS门的参数指标	69	4.1.2 触发器的分类和逻辑 功能	125
2.6 数字电路的VHDL描述	71	4.2 基本RS触发器	126
2.6.1 与非门	72	4.2.1 基本RS触发器的工作 原理	126
2.6.2 或非门	73	4.2.2 两个稳态	126
2.6.3 异或门	73	4.2.3 触发翻转	127
习题	74	4.2.4 真值表和特征方程	127
第3章 组合数字电路	78	4.2.5 状态转换图	128
问题探究	78	4.2.6 集成基本RS触发器	128
3.1 导论	78	4.3 同步时钟RS触发器	130
3.2 组合数字电路的分析	79	4.3.1 同步时钟RS触发器的 结构和工作原理	130
3.2.1 组合电路的分析方法	79	4.3.2 同步时钟RS触发器的 特征方程	131
3.2.2 异或门分析	80	4.3.3 波形及空翻现象	131
3.3 组合数字电路的设计	82	4.3.4 状态转换图	132
3.3.1 半加器设计	82	4.4 主从触发器	132
3.3.2 全加器设计	83	4.4.1 主从RS触发器	132
3.3.3 全加器的VHDL描述	84	4.4.2 主从JK触发器	135
3.4 常用组合集成逻辑电路	87		
3.4.1 集成4位超前进位全 加器	87		

4.5 边沿触发器	138	5.4.3 用集成计数器实现任意 进制计数器	192
4.5.1 维持阻塞 D 触发器的 电路结构	138	5.4.4 用 VHDL 语言描述时序 电路	204
4.5.2 维持阻塞 D 触发器的 工作原理	138	习题	206
4.5.3 特征表和特征方程	139	第 6 章 存储器及大规模集成电路	217
4.5.4 状态转换图和时序图	139	问题探究	217
4.5.5 集成边沿 D 触发器	140	6.1 导论	218
4.6 边沿 JK 触发器	140	6.2 只读存储器 ROM	218
4.6.1 边沿 JK 触发器的结构和 工作原理	140	6.2.1 ROM 的结构和工作 原理	219
4.6.2 特征表和特征方程	141	6.2.2 ROM 的分类	221
4.6.3 状态转换图和时序图	141	6.2.3 ROM 的应用	223
4.6.4 逻辑符号	142	6.3 随机存储器	224
4.6.5 集成边沿 JK 触发器	142	6.3.1 RAM 的结构和原理	224
4.7 触发器 VHDL 描述	143	6.3.2 RAM 的存储单元	224
4.8 555 定时器	145	6.3.3 集成 RAM	225
4.8.1 概述	145	6.4 可编程逻辑器件概述	226
4.8.2 单稳态触发器	146	6.4.1 PLD 的发展	226
4.8.3 多谐振荡器	147	6.4.2 PLD 的分类和特点	227
4.8.4 施密特触发器	148	6.4.3 实现可编程的基本 方法	228
4.8.5 压控振荡器	149	6.5 通用阵列逻辑 GAL	231
习题	150	6.5.1 概述	231
第 5 章 时序数字电路	159	6.5.2 GAL 的结构	231
问题探究	159	6.5.3 通用阵列逻辑 GAL 的 编程	235
5.1 导论	159	6.5.4 ispLSI 器件的程序语言 简介	236
5.2 时序电路分析	161	6.5.5 数字小系统的设计与 实现	241
5.2.1 同步电路分析	161	6.6 现场可编程门阵列 FPGA	247
5.2.2 异步电路分析	164	6.6.1 FPGA 的基本结构	248
5.3 同步时序数字电路的设计	165	6.6.2 FPGA 的编程	249
5.3.1 同步计数器的设计	165	习题	255
5.3.2 时序逻辑问题设计	168		
5.4 常用时序逻辑器件	176		
5.4.1 寄存器和移位寄存器	176		
5.4.2 计数器	180		

第 7 章 数模与模数转换器	257	7.3.4 双积分型 A/D 转换器	269
问题探究	257	7.3.5 A/D 转换器的转换 精度与转换时间	271
7.1 导论	257	7.4 多路模拟开关	272
7.2 D/A 转换器	258	7.4.1 模拟开关的功能及电路 组成	272
7.2.1 倒 T 形电阻解码网络 D/A 转换器	258	7.4.2 模拟开关的工作模式	273
7.2.2 集成 D/A 转换器 AD7524	259	*7.5 数据采集系统简介	273
7.2.3 D/A 转换器的转换 精度与转换时间	260	7.5.1 系统的技术要求	274
7.3 A/D 转换器	261	7.5.2 系统方框图	274
7.3.1 A/D 转换的基本概念	261	7.5.3 电路设计	275
7.3.2 并行比较型 A/D 转换器	264	习题	278
7.3.3 逐次逼近型 A/D 转换器	266	附录 VHDL 的基本结构与语法规则 ...	280
		参考文献	288

绪 论

1. 电子技术的发展

电子技术基础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,其发展更加日新月异。

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一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。

处理模拟信号的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,模拟电子电路应用面十分广泛。

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。

处理数字信号的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 电路只需识别信号的有无,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,在一些新技术的支持下,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;另一方面在实验中同学们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 3 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票机的控制电路?
- (6) 如何设计一个红绿黄交通灯的循环显示控制电路?
- (7) 如何设计一个 3 位十进制显示电路,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、简化与应用一个包含任意项的逻辑函数?
- (9) TTL 系列与 CMOS 系列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两种情况。
- (11) 为什么要设计 OC 门?其性质与应用技巧是怎样的?
- (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、FPGA 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) 对数字电路与模拟电路性能的对比研究。

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，温度传感器输出的是电压信号。在任何情况下被测温度都不可能发生突变，因此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。这个电压信号属于模拟信号还是数字信号？

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。可见给计数器的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，属于数字信号吗？你能找出几种分别具有上述两种特征的信号吗？

(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可以有不同取值，即可以同时为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。你能用逻辑表达式将A和B的取值组合与P的因果关系表达出来吗？

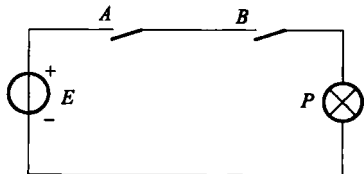


图1.1 灯控电路

(3) 日常生活和生产实践中有很多类似的甚至是较为复杂的逻辑事件，就必须借助于数学工具描述复杂逻辑问题，如何将这些逻辑的问题抽象成数学表达式是我们研究逻辑电路的基础。例如，某教室有两台风扇 F_1 和 F_2 ，教室设置了3个温度检测元件A、B、C，并设定了每个检测元件的阈值温度， $A = 25^\circ\text{C}$ ， $B = 28^\circ\text{C}$ ， $C = 30^\circ\text{C}$ 。现要求当室内温度高于 30°C 时，两台风扇 F_1 和 F_2 同时工作；当室内温度高于 28°C 低于 30°C 时，风扇 F_1 工作；当室内温度高于 25°C 低于 28°C 时，风扇 F_2 工作；当室内温度低于 25°C 时，两台风扇 F_1 和 F_2 都不工作。试设计一个控制两台风扇的逻辑电路。怎样用数学方法表达这个逻辑问题呢？

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 数字信号的特点

因为数字信号是随时间断续变化的信号,因此可以称它是离散的信号,又称它是一种脉冲信号;又由于数字信号是在两个稳定状态之间阶跃式变化的信号,它又具有二值性。例如电压的高、低,电流的有、无等,所以,它又是二值逻辑的。

综上所述,在数字电路中,目前描述二值逻辑的方法都是采用二进制,与人们习惯的十进制有很大的不同,二进制系统也称为双值逻辑系统。实现数字电路的器件也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。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,1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。这种运算称为算术运算。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
$\begin{array}{r} 1001 \\ +0101 \\ \hline 1110 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1001 \\ -0101 \\ \hline 0100 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1001 \\ \times 0101 \\ \hline 1001 \\ 0000 \\ 1001 \\ 0000 \\ \hline 0101101 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1.11 \\ 0101 \overline{) 1001} \\ \underline{0101} \\ 1000 \\ \underline{0101} \\ 0110 \\ \underline{0101} \\ 0001 \end{array}$

1.1.3 数制和码制

数制是指计数的制式,如二进制、十进制、十六进制等。二进制共有 2 个数码,即 0 和 1;十进制共有 10 个数码,即 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。依此类推。所谓数码,就是一种数制中可能出现的数字符号。

码制是指利用不同制式的数码进行编码的方式。什么是编码?按某种编排方式组成的 N 位数码,用它来表示某种信息,称为编码,这些信息包括数值、语言、操作命令、状态等。如利用二进制数码编制的各种 BCD 码、循环码等。数制是码制的基础,数制和码制不是完全对立的概念,实际上是相互依存,各有侧重而已。

1. 数制的通式

常用的数制有二进制、十进制和十六进制,现以十进制和二进制为例加以说明。有一个十进制数 138,它可以写成如下形式

$$[138]_{10} = 1 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 8 \times 10^0$$

式中,1、3、8 等数字符号是十进制的数码。十进制遵循的是“逢十进一”的规则,即个位的数码就由该数码本身的数值所代表;处于十位上的数码,它的分量要大一些,应乘以“10”,这个“10”称为“权”,在式中以 10^1 的形式出现;处于百位上的数码的权是“100”,以 10^2 的形式出现。所以在十进制中一个数码左移 1 位相当于乘以 10。十进制的“10”称为基数。

同样,对于二进制,应该有两个数码 0 和 1,遵循“逢二进一”的规则,对于整数二进制,它的权应为 $\dots, 2^3, 2^2, 2^1, 2^0$,于是二进制数 1011 可以写成

$$[1011]_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 0 + 2 + 1 = [11]_{10}$$

下标 2 代表方括号中的数是二进制,下标 10 代表方括号中的数是十进制。于是对于任意进制的数码可以写成一个通式

$$S = \sum_{i=n}^{-m} K_i N^i$$

式中, N 为基数,也就是几进制的几; K_i 是第 i 位的系数,它可以是 0~9 数码中的任何一个; i 为所在数位的十进制的编号,从 n 到 $-m$,代表数位的高低,负号表示小数点以后的位数; N^i 为所在数位的权(weight),在一种固定的进制中,某一位的权就是以这种进制的基数为底,以代表该数位高低的位置编号为幂的指数值的大小。

2. 常用编码

(1) 二进制码

二进制码的英文是 binary code,常用 B 来表示。二进制码是双值逻辑系统中最常用、最重要的一种编码,它遵循“逢二进一”的规则。一般来看,二进制码的最低位是 0、1 交替变化的,比最低位高一位的二进制码是“两个 0”、“两个 1”交替变化的,再高一位是“四个 0”、“四个 1”交替变化的, $\dots$,每一位的 0 和 1 各占二分之一。二进制码某一位的 1 向高位移 1 位,等于乘以 2;向低位移 1 位,等于除以 2。查阅表 1.1 也可以清楚地发现这个 0、1 编排

的规律。

(2) 十六进制编码

十六进制编码的英文是 hexadecimal, 常用 H 表示。十六进制有 16 个数码, 即 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。其中 A 代表 10, B 代表 11, C 代表 12, D 代表 13, E 代表 14, F 代表 15。十六进制码在计算机设备中普遍采用。

下面将十六进制代入通式, 说明十六进制数 $[1ABE]_H$ 对应的十进制数

$$\begin{aligned}[1ABE]_H &= 1 \times 16^3 + 10 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 14 \times 16^0 \\ &= 4096 + 2560 + 176 + 14 = [6846]_{10}\end{aligned}$$

(3) 原码、反码和补码

在数字电路中, 二进制的正、负号也是用 0 和 1 表示的。以最高位作为符号位, 正数为 0, 负数为 1。并且为了便于识别与运算, 定义了原码、反码和补码。

原码: 正数的原码是它本身, 且前面符号位填 0。负数的原码是它本身, 前面符号位填 1。

反码: 正数的反码是它本身, 且前面符号位填 0。负数的反码是按位求反, 前面符号位填 1。

补码: 正数的补码是它本身, 且前面符号位填 0。负数的补码是按位求反后加 1, 前面符号位填 1。如一个二进制数 -1011001 , 它的原码、反码和补码如下:

原码 $(1\ 1011001)_2$

↓

符号位

反码 $(1\ 0100110)_2$

补码 $(1\ 0100111)_2$

为了简化运算电路, 在数字电路中两数相减的运算是用其补码相加来完成的。

例如, 计算 $(1000001)_2 - (0110011)_2$, 根据二进制减法运算规则有

$$\begin{array}{r} 1000001 \\ - 0110011 \\ \hline 0001110 \end{array}$$

在采用补码运算时, 首先求出 $(1000001)_2$ 和 $(-0110011)_2$ 的补码, 即正数的补码是符号位加数值位, 正数的符号位为 0, 数值位为正数本身; 负数的符号位为 1, 数值位为正数按位求反后再加 1, 它们是

$$[+1000001]_{\text{补}} = 0\ 1000001$$

↑

符号位

$$[-0110011]_{\text{补}} = 1\ 1001101$$

↑

符号位

然后将两个补码相加并舍去进位,得

$$\begin{array}{r} 0\ 1000001 \\ +1\ 1001101 \\ \hline 10\ 0001110 \end{array}$$

这样就把减法运算化简成加法运算。

(4) BCD 码

BCD 码的英文是 binary code decimal,用缩写 BCD 表示,即二 - 十进制编码,是用二进制数码表示十进制数。用二进制数码表示十进制数,如果用 3 位二进制数是不够的,它只能组成 8 个编码。因此,至少需要 4 位二进制数,因为 4 位二进制数有 16 个不同取值组合,舍去其中的 6 个,即可构成许多种 BCD 码。常用的有特色的码制如表 1.1 所列。

表 1.1 各种常用编码

有 权 码					无权码循环码	偏权码余三码
二进制码	BCD8421 码	BCD5421 码	BCD2421 码	BCD2421' 码		
0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	
0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 1	
0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 1	
0 0 1 1	0 0 1 1	0 0 1 1	0 0 1 1	0 0 1 1	0 0 1 0	0 0 1 1
0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 1 0	0 1 0 0
0 1 0 1	0 1 0 1		0 1 0 1		0 1 1 1	0 1 0 1
0 1 1 0	0 1 1 0		0 1 1 0		0 1 0 1	0 1 1 0
0 1 1 1	0 1 1 1		0 1 1 1		0 1 0 0	0 1 1 1
1 0 0 0	1 0 0 0	1 0 0 0			1 1 0 0	1 0 0 0
1 0 0 1	1 0 0 1	1 0 0 1			1 1 0 1	1 0 0 1
1 0 1 0		1 0 1 0			1 1 1 1	1 0 1 0
1 0 1 1		1 0 1 1		1 0 1 1	1 1 1 0	1 0 1 1
1 1 0 0		1 1 0 0		1 1 0 0	1 0 1 0	1 1 0 0
1 1 0 1				1 1 0 1	1 0 1 1	
1 1 1 0			1 1 1 0	1 1 1 0	1 0 0 1	
1 1 1 1			1 1 1 1	1 1 1 1	1 0 0 0	

关于表 1.1 做以下几点说明:

① BCD 码中最常用的是 BCD8421 码,8421 是它的权,因为 BCD8421 码正好取的是 4 位二进制数的前 10 个,所以它的权与二进制相同。BCD8421 码也称为自然二 - 十进制编码,是一种有权码。所谓有权码,就是这种编码的数值可以用组成该数码各位的权的和来代表。例如 $1001 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 0 + 0 + 1 = [9]_{10}$,所以 1001 代表的是 9。而无权码是不能用通式来计算其十进制数的数值的。

② 表中的编码一些是有权码,一些是无权码。表中二 - 十进制编码均为有权码。

③ 对于一种有权码,决定其中任意一个数码的值时,只有唯一的一种,这就是编码的单值性问题。BCD8421 码是单值的,而 BCD2421 码、BCD5421 码等是多值的,常用的 BCD2421 码就有两种。例如 BCD2421 码的 5 可以是 1011,也可以是 0101。表中所列的 BCD 码已经是公认的,虽然有多值的问题,但不能再写成其他的形式。

对于表 1.1 中的 BCD5421 码,最高位是 5 个 0 和 5 个 1,其他排下来是按 000、001、010、011、100(0、1、2、3、4)的顺序变化。从 BCD5421 码的最高位输出可以获得 50% 占空比的方波,它含有的基波分量比例较高,而 BCD8421 码最高位输出所含基波分量的比例就较低,这也是 BCD5421 码的优点所在。

④ 二 - 十进制编码必须以十为周期。以 BCD8421 码为例:

$$\begin{array}{ccccccc} 1001 & + & 0001 & = & 0001 & 0000 \\ & & & & \underbrace{\hspace{1cm}} & \underbrace{\hspace{1cm}} \\ & & & & \text{十位} & \text{个位} \end{array}$$

九加一得十,正好是一个周期,个位的 BCD 码是 0000,同时给出一个进位信号,使十位的 BCD 码为 0001。

⑤ 余三码是偏权码。如果用 BCD8421 码的权来计算余三码,得到的数值从 3 ~ 12,比 0 ~ 9 每一个正好多余 3,故称余三码。偏权码代表的数值可按有权码计算,然后减去一个固定的偏离值得到,偏权码也因此得名。

余三码的两数相加时,如有进位,正好可以从最高位二进制码获得进位信号。因为一个余三码多 3,两个余三码多 6,正好跳过希望舍去的 6 个码。

其他 BCD 码也可以从最高位获得进位信号。获得进位的规律是,在一次循环周期内只能出现一次进位信号;进位信号的時刻必须准确,不能提前,也不能错后。

⑥ 余三码还有一个重要性质,即 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 的 0、1 互相颠倒,例如把余三码 2 中的 0、1 互相颠倒就得到 7,而把 7 中的 0、1 互相颠倒,就得到 2。这五对码之和都是 9,称这五对码是互补的,如表 1.1 所列。BCD2421* 码也具有互补对称性。

(5) 循环码

循环码是一种无权码,循环码编排的特点是相邻两个数码之间符合卡诺图中的邻接条件,即相邻两个数码之间只有一位码元不同,码元就是组成数码的单元。符合这个特点的有多种方案,但循环码只能是表 1.1 所列。循环码的优点是没有瞬时错误,因为在数码变换过程中,在速度上会有快有慢,例如,从二进制码的 0111 变化到 1000,可能是按如下方式变化的

0 1 1 1
 0 0 1 1
 0 1 1 1
 1 0 0 0

中间经过其他一些数码形式,称它们为瞬时错误。这在某些数字系统中是不允许的,为此希望相邻两个数码之间仅有 1 位码元不同,即满足邻接条件,这样就不会产生瞬时错误。循环码就是这样一种编码,它的编排顺序见表 1.1,它可以在卡诺图中依次循环得到。循环码又称格雷码(Grey code)。

1.2 逻辑运算

1.2.1 基本逻辑运算

一、逻辑变量

逻辑代数中的变量常用字母 $A, B, C, \dots$ 表示。每个变量只有 0 和 1 两种取值,即变量不是取 0,就是取 1,不可能有第三种情况。它相当于信号的有或无、电平的高或低和电路的导通或截止。这使逻辑代数可以直接用于双值系统逻辑电路的研究。

二、基本逻辑运算

逻辑代数的基本运算类型有三种:与、或、非。

1. 或运算——逻辑加

有一个事件,当决定该事件的诸变量中只要有一个存在,该事件就会发生,这样的因果关系称为或逻辑关系,也称为逻辑加;或者称为或运算,逻辑加运算。

例如在图 1.2(a)所示电路中,灯 P 亮这个事件有两个条件决定,只要开关 A 和 B 中有一个闭合,灯 P 就亮。因此灯 P 与开关 A 和 B 满足或逻辑关系,逻辑表达式为

$$P = A + B \quad (1.1)$$

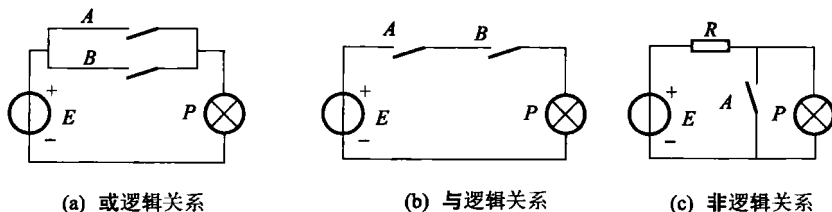


图 1.2 三种基本逻辑运算的开关模拟电路图

该等式读成“ P 等于 A 或 B ”,或者“ P 等于 A 加 B ”。