



电子电路读本 3

例题解析

电子电路

数字篇

〔日〕 尾崎 弘 谷口庆治 著
浅田胜彦 川端信贤 译
张健琼 高志勇



科学出版社

www.sciencep.com

电子电路读本 3

例题解析

电子电路

数字篇

〔日〕 尾崎 弘 谷口庆治 著
浅田胜彦 川端信贤
张健琼 高志勇 译

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是“电子电路读本”系列之一。本系列共分四册。本书作为电子电路的数字部分,主要介绍逻辑数学基础、代码、组合逻辑电路、时序电路、数字功能电路的设计、基本门电路的设计,以及数字系统设计、A-D 转换器与 D-A 转换器等。每章末附有练习题及其解答。

本书的特点是图文并茂、简明易懂,将相关的内容通过例题来讲解,以此避免读者在学习时的枯燥、乏味,提高理解能力;除此之外,重点名词给出相应的英文词汇,有些重点名词还给出注释。

本书适合作为大中专院校“数字电路”的辅助参考教材,也可作为数字电子技术人员的参考学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

例题解析电子电路——数字篇/(日)尾崎弘等著;张健琼,高志勇译.
—北京:科学出版社,2004
(电子电路读本)
ISBN 7-03-013580-6

I. 例… II. ①尾… ②张… ③高… III. ①电子电路-高等学校-解题
②数字电路-高等学校-解题 IV. TN710-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 050347 号

责任编辑:王 炜 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:李 祥

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 7 月第 一 版 开本: A5(890×1240)

2004 年 7 月第一次印刷 印张: 9 1/8

印数: 1—5 000 字数: 266 000

定 价: 23.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

由于电子、信息、通信工程技术的快速发展,有关这些领域的研究开发对技术的要求越来越高。与此相应的硬件基础的基础则是电子电路了。电子电路是所有电子、信息、通信设备的基本构成要素。有效地学习电子电路的方法之一就是演练精心挑选及整理的例题和练习题,并正确地理解。

本书是诚邀众多在日本大学电子、信息专业长期教授电子电路的教师,作为培养大学生能力的电子专业教科书兼练习题编写的,即作为先前出版的《例题解析 电子电路——模拟篇》的姊妹篇编写了本书。

在执笔之际,编者互相交换意见,反复对内容进行讨论,避免内容重复的同时,力求消除表现上的不一致和错误等。而且,为了使读者能够学习到从数字电路基础到应用的广泛知识,在编写本书时,着重注意了以下几点:

- (1) 在1~4章介绍作为数字电子电路基础的逻辑数学、符号、组合电路及时序电路的基础理论,以及给出相应的例题及练习题;
- (2) 在每章节开始首先详细介绍基础理论,然后给出例题及其解答;
- (3) 行文尽可能简洁易懂,对专业术语进行解释;
- (4) 在各章末尾编排练习题,并给出解答。

如上所述,本书不但可以作为相关专业教科书或参考书,而且还可作为整理知识的练习题集。

在执笔本书时,参考了很多著作和论文,在此对其作者表示衷心感谢。

另外,在出版本书时,共立出版社(株)的有关人士也给予了很多帮助,在此也对各位表示深深的谢意。

著 者

目 录

第 1 章 逻辑数学基础	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 命题,关系	1
1.1.2 概念及其内涵和外延	2
1.1.3 体系(系,系统),模型	2
1.2 集 合	3
1.2.1 集合的定义	3
1.2.2 子集,补集	4
1.2.3 运算,幂集	6
1.2.4 并集,交集,恒等式	6
1.2.5 Veitch 图和卡诺(Karnaugh)图	8
1.2.6 对偶性,对偶定理	11
1.2.7 对,组,直和,直积	12
1.2.8 势(集合元素的个数),可数集合	14
1.3 关系,对应,映射	20
1.3.1 函数关系	20
1.3.2 等价关系和次序关系	21
1.3.3 分类和等价类	23
1.4 次序集合,格,布尔代数	25
1.4.1 次序集合	25
1.4.2 格,逻辑代数(命题运算),布尔代数	27
1.5 命题逻辑(二值逻辑代数)的概述	29
1.5.1 命题的符号表示	29
1.5.2 真值,真值表,真值变量(逻辑变量), 真值函数(逻辑函数)	31
1.5.3 其他几个逻辑运算	32

1.5.4	基本的等式,类逻辑和幂集	34
1.6	布尔代数	36
1.6.1	布尔代数的定义	36
1.6.2	对偶性	37
1.6.3	布尔代数的模型	37
1.6.4	生成元和生成的自由代数系,模型理论	39
1.7	逻辑函数和逻辑电路	41
1.7.1	组合电路和逻辑函数	42
1.7.2	时序电路和逻辑函数	42
1.8	逻辑函数	44
1.8.1	最小项和主加法标准形	44
1.8.2	用真值表给出的函数的展开(主加法 标准形)	46
1.8.3	最大项和主乘法标准形	48
1.8.4	所有的二元运算	49
1.8.5	完全组	51
	练习题	54
	练习题解答	55
第2章	代 码	58
2.1	信息,语言,代码	58
2.1.1	信息,信息量	58
2.1.2	语言,文本(公式,信号)	60
2.1.3	存储(信息的储备),传输,传送	62
2.2	代码(符号,字码)	62
2.2.1	码元、码字、码制, n 元码	62
2.2.2	二值元素和二进制码	64
2.2.3	r 进制,二进制, 2^n 进制	65
2.2.4	各种二进制码	67
2.3	二进制码的性质	69
2.3.1	距离,距离空间,汉明间距	69
2.3.2	二进制数的汉明间距	70

2.3.3 n 单位代码, n 维立方体, 幂集和 布尔代数	71
2.3.4 误差检测码和纠错码	72
2.4 格雷码	73
2.4.1 格雷码	74
2.4.2 反演二进制 G-码	75
2.4.3 代码轮和 A-D 转换	76
2.5 补 码	77
2.5.1 使用绝对值和(正负)符号的数的表达	77
2.5.2 补 码	79
2.5.3 根据补码进行运算和向存储装置中 的存储	83
2.5.4 移 位	84
练 习 题	86
练习题解答	87
 第 3 章 组合逻辑电路	 91
3.1 组合电路	91
3.1.1 概 述	91
3.1.2 基本的组合电路单元	93
3.2 逻辑函数及其化简	94
3.2.1 逻辑函数的和标准形与积标准形	94
3.2.2 逻辑函数的化简	96
3.2.3 多输出电路的化简	104
3.3 组合电路的设计步骤	105
参考文献	107
练 习 题	108
练习题解答	110
 第 4 章 时序电路	 114
4.1 时序电路及其表示方法	114
4.1.1 时序电路的模型	114

4.1.2	时序电路的电路构成	115
4.1.3	触发器的必要个数和状态分配	117
4.1.4	同步式时序电路	118
4.2	触发器	121
4.2.1	同步式触发器的动作计时	122
4.2.2	RS 触发器	122
4.2.3	JK 触发器	125
4.2.4	D 触发器	126
4.2.5	T 触发器	126
4.3	简单的时序电路的例子及动作	129
4.4	由触发器构成的时序电路	131
4.4.1	时序电路的构成方法(之一)	132
4.4.2	时序电路的构成方法(之二:完全解) ...	140
4.4.3	时序电路的构成方法(之三)	147
4.5	时序电路的化简	152
4.5.1	霍夫曼-密立的方法	153
4.6	关于时序电路的其他问题	155
4.6.1	从输入输出系列来看时序电路和 故障检查	156
4.6.2	状态分配问题	156
4.6.3	非同步电路	156
	参考文献	156
	练 习 题	157
	练习题解答	158
第 5 章	数字功能电路的设计	166
5.1	组合逻辑功能电路	166
5.1.1	加减法器及其应用电路的设计	166
5.1.2	比较器及其应用电路的设计	174
5.1.3	译码器/编码器及其应用电路的设计 ...	177
5.1.4	多路转换器/信号分离器及其 应用电路的设计	181

5.2 时序逻辑功能电路	184
5.2.1 在数字系统中同步脉冲的作用	184
5.2.2 触发器(FF)电路的实现	186
5.2.3 寄存器及其应用电路	190
5.2.4 计数器的设计	192
参考文献	198
练习题	199
练习题解答	200
第6章 基本门电路的设计	202
6.1 门电路的基本事项	202
6.1.1 正逻辑和负逻辑	202
6.1.2 逻辑电路的信号电平	202
6.1.3 在逻辑电路上的信号延迟时间和 耗电量的关系	202
6.2 使用二极管的门电路	203
6.2.1 二极管的特性和近似等效电路	203
6.2.2 二极管门电路	204
6.3 使用双极晶体管的开关电路	206
6.3.1 晶体管的特性	206
6.4 射极跟随器电路	210
6.5 二极管-晶体管逻辑(DTL)电路	210
6.6 晶体管-晶体管逻辑(TTL)电路	213
6.6.1 使基极积累电荷放电加速的方法 ...	213
6.6.2 TTL 电路高速化的方法	215
6.2.3 三态电路(tristate circuit)	217
6.7 ECL 电路	218
6.7.1 基本电路的结构	218
6.7.2 实际电路的结构	219
6.8 MOS 型逻辑电路	221
6.8.1 MOS 晶体管的特性	221
6.8.2 CMOS-NOT 电路	222

6.8.3 CMOS-NAND 电路	223
参考文献	223
练 习 题	224
练习题解题	226
 第 7 章 数字系统设计	230
7.1 总 线	230
7.1.1 总线的设计	230
7.1.2 分开的系统之间的信号传输	235
7.2 微处理器接口的设计	239
7.2.1 微处理器的传输控制信号及其统一化 ...	239
7.2.2 ROM 存储器系统的设计	242
7.2.3 静态 RAM 存储器系统的设计	244
7.2.4 外围控制元件及其接口	247
7.3 输入输出接口电路的设计	248
7.3.1 电键开关的接口	248
7.3.2 7 段显示器接口控制电路的设计例子 ...	252
参考文献	256
练 习 题	257
练习题解答	258
 第 8 章 A-D 转换器,D-A 转换器	259
8.1 A-D 转换系统,D-A 转换系统	259
8.2 放大及采样保持电路	261
8.3 模拟多路转换器	263
8.4 二重积分型 A-D 转换器	264
8.5 并列比较型 A-D 转换器	267
8.6 D-A 转换器	269
8.6.1 D-A 转换器的构成要素	269
8.6.2 电流加法型 D-A 转换器	269
8.6.3 电压加法型 A-D 转换器	270
8.7 逐次比较(逐次近似)型 A-D 转换器	272

参考文献	275
练 习 题	276
练习题解答	277

第 1 章 逻辑数学基础

要 点

本章主要介绍组合数学(也称为离散数学)的基本概念,以及构成数字电路基础理论的逻辑代数、逻辑电路。

读者初次学习本章时,若不能完全掌握,可以跳过本章而先学习下一章,必要时可以参考本章中相应的内容。但是,在可能的情况下,仍然希望读者能大致读一下。



基本概念

1.1.1 命题,关系

不是真(true)即是假(false),这种判断的句子称为命题(proposition, statement)。涉及两个以上元(概念、定义后述)的命题称为关系(relation)。涉及 n 个元的命题称为 n 元关系(n -ary relation)。举例如下:

[命题的例子]

(1) 雪是白色的。(真)

(2) $5+2=9$ 。(假),这个式子是 5, 2 和 9 的三元关系,也可以看成 5 和 2 的对 $\{5, 2\}$ 与 9 的二元关系。

(3) $x \geq y$ 。在这个式子中,如果不能决定 x 与 y 的值,则不能说式子为真或者为假。因此,称为函数命题。这是 x 和 y 的二元命题。

关系一般可以表示为 $R(a, b, \dots, z)$, 二元关系(binary relation)可以表示为 aRb 。二元关系举例如下:

[二元关系的例子]

$a // b, a \perp b, a = b, a \in A, A \subset B$ 等。

1.1.2 概念及其内涵和外延

机器、人、成套设备(工厂)等被称为**概念**(concept)或者**项**(term)。以日本人这个概念作为例子,我们可以这样定义。现在将 $n(x)$ 定义为

$n(x)$: “ x 为具有日本国籍的人。”

的函数命题。这个 $n(x)$ 中的 x 表示了作为日本人的充分必要条件。称其为概念的**内涵**(connotation, intension)。

将 $n(x)$ 为真时 x 的全体表示为

$$N = \{x | n(x)\} \quad (1.1)$$

这表示全体日本人,称为**外延**(denotation, extension)或者**类**(class)。在数学中称为**集合**(set)或者**空间**(space)。

一般地,概念有内涵(充分必要条件)和外延(类、集),由一方决定另一方。

概念 $\begin{cases} n(x): \text{内涵、充分必要条件、意义} \\ N: \text{外延或类,在数学中称为集合或空间} \end{cases}$

内涵所研究的问题称为**命题逻辑**,外延所研究的问题则称为**类逻辑**。举例如下:

a 先生是日本人。 $n(a)$ 或者 $a \in N$, 后者为类逻辑

b 先生不是日本人。 $\bar{n}(b)$, $\neg n(b)$ 或者 $b \notin N$

1.1.3 体系(系,系统),模型

将几个概念聚在一起而构成的新的概念,称为**体系**或者简称为**系**或者**系统**(system)。如果将构成体系 A 的**概念组**(具有顺序的集合)记为 $(A_1, A_2, \dots, A_n)$, 则体系 A 可以表示为 $A = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ 。

在数学上,将由 n 个概念组成的体系 $(A_1, A_2, \dots, A_n)$ 称为 **n 元组**(n -tuple),特别地,将**二元组**称为**对**(pair)。

【例题 1.1】 若考虑大学这个体系,是由教师、学生、职员、专业课程、场地、建筑物、教室、研究室、教学组等很多概念有机地组成的体系。

【例题 1.2】 三维欧几里德空间内点 P 的坐标为 $P = (x_1, y_1, z_1)$, 则 P 是三元组的体系(坐标系)。

如果体系 $A = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ 与体系 $B = (B_1, B_2, \dots, B_n)$ 一一对应, 则 A 与 B **同构**(isomorphic)。而且,称 A 与 B 一方为另一方的**模型**(modèle 法语; model, 英语)。

【例题 1.3】代数系及其模型 1.2.3 节中所示的幂集的基本等式群中有波浪线的式群(称为体系)和 1.6 节布尔代数的公理群一一对应。因此,幂集是布尔代数的模型。关于其他布尔代数的模型,可以参考 1.6.3 节。

【例题 1.4】MODEL-I, MARK-II, EXAMPLE 将伊利诺伊大学实验的 2 号机械(计算机)称作 ILLIAC-MARK-II。曾经进入大阪大学的 N 公司的计算机的名字是 N..., 2200, MODEL 900。MODEL 和 MARK 是同义词, EXAMPLE 也有相同意义。如果将 ILLIAC 系统定义为命题的组,则完全满足这些的系统就是 ILLIAC 的模型。有时称为模型-I、模型-II,也有时称为 MARK-I、MARK-II。

集 合

如上节所讲的,将概念的外延即类称作集合(set)。集合中所包含的个体称为元素(element,要素)或者称为元(member)。

注 1.1 虽然上面定义了日本人的概念,但是可能存在着所谓的日本人是日本人的集合(即外延),还是指作为日本人的充分必要条件(即内涵)这样的疑问,实际上所指的是两方面。但是,在数学上认为,指日本人的集合这种情况较多。如果要表示一个元素,则只要表示“一个日本人”即可。

1.2.1 集合的定义

定义集合的方法有三种。第一种方法称为内涵定义,是如同前面定义日本人的集合那样,表示出属于集合的充分必要条件,即内涵,由此定义的方法。现在,如果定义出属于集合 S 的充分必要条件为 $C(x)$,则可定义为

$$S = \{x | C(x)\} \quad (1.2)$$

这种定义方法为 set former。

第二种方法称为外延定义,是列举出属于集合的元素的方法。例如,自然数(的集合) N 及整数(的集合) Z 可以如下面定义:

$$N = \{1, 2, \dots\}$$

$$Z = (0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

很难由内涵定义自然数和整数。

第三种方法称为**归纳定义**。例如定义 $2x^2 + 3.5x + 8, 3x + 5.2$ 这种实系数多项式,可以这样考虑:

- (1) 实数是多项式;
- (2) 变量是多项式;
- (3) 多项式的和是多项式;
- (4) 多项式的积是多项式;
- (5) 只有以上认为是多项式的才是多项式。

按照上述定义, $3x + 5.2$ 是多项式这件事情可以如下表述。根据(i)可知 3 和 5.2 是多项式;根据(ii)可知 x 是多项式;根据(iv)可知 $3x$ 是多项式;根据(iii)可知 $3x + 5.2$ 是多项式。

1.2.2 子集,补集

当 a 是集合 A 的元素时,可以称为 a **属于**(belongs to) A ,或者 A **包含**(contain) a 。当 a 属于 A , b 不属于 A 时,可以如下表示:

$$\left. \begin{array}{l} a \in A \text{ 或者 } A \ni a \\ b \notin A \text{ 或者 } A \nexists b \end{array} \right\} \quad (1.3)$$

由有限个元素组成的集合称为**有限集合**(finite set),由无限个元素组成的集合称为**无限集合**(infinite set)。作为集合 A 和集合 B ,当集合 B 的元素全部包含于集合 A 时,则称集合 B 是集合 A 的**子集**(subset),也可以称为 A 包含 B 。如下表示:

$$B \subset A \text{ 或者 } A \supset B \quad (1.4)$$

由子集的定义可以清楚地知道, A 本身也是 A 的子集。当 $A \supset B$,而且 $B \subset A$ 时,可以表示为

$$A = B \quad (1.5)$$

此时 A 和 B 称为**相等集合**。当 A 和 B 不是相等集合时,可以写为

$$A \neq B \quad (1.6)$$

当 $A \supset B$ 且 $A \neq B$ 时,可以表示为

$$A \supsetneq B \quad (1.7)$$

称为集合 B 是集合 A 的**真子集**(proper subset),如图

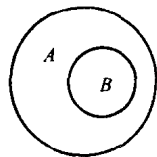


图 1.1 真子集

1.1 所示,这种图称为**文氏图**(Venn diagram)。另外,为

了在叙述理论时达到统一,我们将不含任何元素的集合称为空集(empty set),用 ϕ 表示。 ϕ 是所有集合的子集。

在集合 A 、集合 B 中,属于集合 A 而不属于集合 B 的元素组成的集合称为 A 与 B 的差集(difference set),用 $A-B$ 表示,即

$$A-B=\{x|x\in A, x\notin B\} \quad (1.8)$$

如图 1.2 所示。

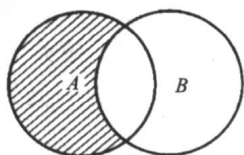


图 1.2 差集($A-B$)

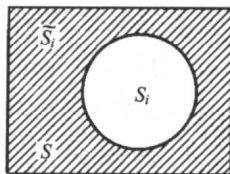


图 1.3 补集($S-S_i=\bar{S}_i$)

有某集合 S ,如果 $S_1, S_2, S_3, \dots$ 是它的子集,那么 $S-S_i \subset S$ 是 S 的子集。这时表示为

$$S-S_i=\bar{S}_i \quad (1.9)$$

称 $\bar{S}_i$ 为对于集合 S 的 S_i 的补集(complement 或者 complement set)。如图 1.3 所示。可以清楚地知道, $\bar{S}_i$ 的补集仍是 S_i ,即

$$\bar{\bar{S}_i}=S_i \quad (1.10)$$

【例题 1.5】 集合 S 为

$$S=\{a,b,c,d\} \quad (1.11)$$

$$\left. \begin{array}{l} S_1=\{a,b\} \\ S_2=\{c,d\} \\ S_3=\{a,b,c\} \end{array} \right\} \quad (1.12)$$

若哪一个都是真子集,则有

$$\left. \begin{array}{l} \bar{S}_1=S_2 \\ \bar{S}_3=\{d\} \end{array} \right\} \quad (1.13)$$

表 1.1 集合 $\{a,b,c,d\}$ 的子集

	a	b	c	d	子集
0	0	0	0	0	ϕ
1	0	0	0	1	$\{d\}$
2	0	0	1	0	$\{c\}$
3	0	0	1	1	$\{c,d\}$
4	0	1	0	0	$\{b\}$
5	0	1	0	1	$\{b,d\}$
6	0	1	1	0	$\{b,c\}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
15	1	1	1	1	$\{a,b,c,d\}$

而且 S 的子集个数为 $2^4=16$ 个,如表 1.1 所示。即在 4 个元素下面列举出 4 位数的二进制数,各数与子集一一对应。二进制数变为 1 的位数上

的元素组成的子集与其二进制数对应(例如 0000 对应 ϕ , 1100 对应 $\{a, b\}$)。因为 4 位数的二进制数从 0 到 15 共 16 个, 因此子集个数为 16。一般情况下, n 个元素组成的集合的子集有 2^n 个。

1.2.3 运算, 幂集

有某集合 S , 其子集为 $S_1, S_2, S_3, \dots$ 。有必要考虑由 S_1, S_2, S_3 等作为元素的集合。这种集合的集合称为**集合族**(family, family set)。在上面定义了差集 $S_i - S_j$ 和补集 $\bar{S}_i$, 由集合 S_i 和集合 S_j 等求出新的集合 $S_i - S_j$ 和 $\bar{S}_i$ 的过程, 称为**运算**(operation)。特别是 $S_i - S_j$ 是关于二元 S_i 和 S_j 的运算, 因此称为**二元运算**(binary operation), $\bar{S}_i$ 为一元运算。一般地, 关于 n 元的运算称为 **n 元运算**(n -ary operation)。

一个集合为 U , 以 U 的全部子集作为元素的集合族称为**幂集**(power set), 表示为 $P(U)$ 或者 2^U 。而且, 称 U 为**全集**(universe, universal set)。以下没有预先说明, 写为 $\bar{S}$ 指的是 U 的补集。将全集 U 的元素称为幂集 2^U 的**原子**(atom, 译为原子元素)。

另外, 用几何学表达时, 将集合称为**空间**(space)或者**抽象空间**(abstract space), 其元素称为**点**(point), 子集称为**子空间**。

1.2.4 并集, 交集, 恒等式

由至少属于集合 A 和集合 B 一方的元素组成的集合称为 A 和 B 的**并集**(sum set), 表示为 $A \cup B$, 即

$$A \cup B = \{x | x \in A \text{ 或者 } x \in B\} \quad (1.14)$$

如图 1.4(a)所示。由定义可得

$$A \cup B = B \cup A \quad (1.15)$$

此外, 集合 A 和集合 B 两者共同包含的元素组成的集合称为**交集**(product set)。用 $A \cap B$ 表示, 即

$$A \cap B = \{x | x \in A, x \in B\} \quad (1.16)$$

如图 1.4(b)所示。由定义可得

$$A \cap B = B \cap A \quad (1.17)$$

在幂集 $P(U)$ 中, 如果定义两个二元运算 $\cup$ 与 $\cap$ 及一个一元运算 $\bar{}$, 那么下列各式成立。另外, 加波浪线的式子是后面要介绍的布尔代数的公理, 其他式子是可以由公理推导出来的定理。