电子电路读本 1

电子电路

数字篇

〔日〕尾崎 弘 金田弥吉
橘 启八郎 谷口庆治 著
张健琼 高志勇 译

科学出版社
www.sciencep.com

电子电路读本 1

电子电路

数字篇

〔日〕尾崎　弘　金田弥吉
橘　启八郎　谷口庆治　著
张健琼　高志勇　译

科学出版社
北京

图字：01-2003-7840 号

内 容 简 介

本书是"电子电路读本"系列之一。本系列共四册。本书作为电子电路的数字部分，主要介绍组合数学概述、电路元件的脉冲响应和瞬变特性、脉冲发生电路、数字电路的逻辑设计、基本门电路、D-A 及 A-D 转换电路、微处理器及其外围电路等。每章末附有练习题及其解答。

本书图文并茂、简明易懂、实用性强，具有很强的可读性；除此之外，重点名词均给出相应的英文词汇，有些重点名词还给出注释。

本书可作为大专院校"数字电路"的辅助参考教材，也可以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

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 7-03-013503-2

Ⅰ.电… Ⅱ.①尾… ②张… ③高… Ⅲ.①电子电路-高等学校-教材 ②数字电路-高等学校-教材 Ⅳ.TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 050358 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：8 1/4

印数：1—5 000 字数：248 000

定 价：22.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈新欣〉)

前　言

电子电路(electronic circuit)是由电阻(resistor)、电感(inductor,线圈)、电容器(capacitor)、二极管(diode)、晶体管(transistor)等构成的电路,是电子、信息、通信系统的基本构成要素。由于电子电路所涉及的领域非常广泛,所以大多数情况下将其分为用于放大及振荡的模拟电路(analog circuit)和用于二进制数的运算及记录的数字电路。前者模拟电路在《电子电路——模拟篇》中介绍,与其对应,后者数字电路在本书中介绍。

本书收集了众多在大学的电子信息专业(电力、电子、信息、通信、控制、测量等专业)长期教授电子电路的教师们的讲义及教学经验,可以作为电子信息专业的教科书和参考书。由于本书所涉及的重要内容很多,所以在一年的教学时间之内不一定能讲授完所有的内容。因此,可以根据实际情况,选择适当的章节供学生参考阅读。

编写本书时,着重注意了以下几点:

(1) 行文尽可能简洁、通俗,明确专业术语的定义;

(2) 本书所讲述的内容只限于非常基础的知识,为您读其他相关的论文、文献及设计资料等起到了抛砖引玉的作用;

(3) 在每章的各部分加入了适当的例题,便于您对内容的理解。

本书由序章和七章构成,每位作者完成的部分如下:

尾崎:序章,第 3 章　　　　橘:第 1 章,第 6 章

金田:第 2 章,第 5 章　　　谷口:第 4 章,第 7 章

本书在执笔时,参考了很多著作和论文,在此对其作者表示深深的感谢。

另外,在本书出版时,共立出版社的有关人士也给予了很多帮助,在此特别要对深濑英弥先生表示感谢。

著　者

目　录

序章　组合数学概述

要　点

在本章中介绍了组合数学(也称为离散数学)的非常基本的概念。概述了作为数字电路基础理论的逻辑代数和逻辑电路。

读者在初次学习本章时,如果不能完全掌握,可以先跳过本章学习下一章。必要时可以回头参考相应的内容。但是,在可能的情况下,仍然希望您能通读一下本章的内容。

0.1 基本概念(概念、命题、体系;系统)

0.1.1 命题、关系

叙述判断的语句,不是**真**(true)即是**假**(false)。将这种语句称为**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) $x \geqslant y$。在这个式子中,如果不能确定 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 的二元关系。

关系一般可以表示为 $R(a,b,\cdots,z)$,**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。

0.1.2 概念及其内涵和外延、集合(空间)

机器、人、成套设备(工厂)等被称为**概念**(concept)或**名词或元**(term)。作为例子,日本人这个概念,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:

$$N=\{x\mid n(x)\} \tag{0.1}$$

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

一般概念有内涵(充分必要条件)和外延(类、集合),由一方决定另一方。

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

关于内涵所研究的问题称为**命题逻辑**,关于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 $a\in N$ 下面为类逻辑

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

0.1.3 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**或者仅称为**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$(A_1,A_2,\cdots,A_n)$,则体系 A 可以表示为 $A=(A_1,A_2,\cdots,A_n)$。

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

【例 1】 考虑大学这个体系。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组成的体系。

【例 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 是三元组的系(坐标系)。

如果体系 $A=(A_1,A_2,\cdots,A_n)$与体系 $B=(B_1,B_2,\cdots,B_n)$一一对应,则 A 与 B **同构**。而且,称 A 与 B 两者中一方为另一方的**模型**(modèle 印

度，model 英)。

0.2 集 合

如上节所述，将概念的外延即类称为**集合**(set)。集合中所包含的个体称为**元素**(element，要素)或者**成员**(member)。

> **注** 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指日本人的集合(即外延)，还是指作为日本人的充分必要条件(即内涵)这样的问题，实际上指的是两方面。但是，在数学上，认为指的是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“1个日本人”即可。

0.2.1 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**，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，由此定义集合。现在，如果定义出属于集合 S 的充分必要条件为 $C(x)$，则

$$S=\{x\mid C(x)\} \tag{0.2}$$

可以作为 S 的定义。

第二种方法称为**外延定义**。列举出属于集合的元素。例如：自然数(的集合)$\boldsymbol{N}$ 及整数(的集合)$\boldsymbol{Z}$ 可以如下定义：

$$\boldsymbol{N}=\{1,2,\cdots\}$$

$$\boldsymbol{Z}=\{0,\pm1,\pm2,\cdots\}$$

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(的集合)，可以这样考虑：

(i) 实数是多项式；

(ii) 变数是多项式；

(iii) 多项式的和是多项式；

(iv) 多项式的积是多项式；

(v) 只有以上认为是多项式的才是多项式。

按照上述定义，$3x+5.2$ 是多项式这一事件可以如下表述：根据(i)3 和 5.2 是多项式；根据(ii)x 是多项式；根据(iv)$3x$ 是多项式；根据(iii)$3x+5.2$ 是多项式。

0.2.2 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：

$$\left.\begin{array}{l} a\in A \text{ 或者 } A\ni a \\ b\notin A \text{ 或者 } A\not\ni b \end{array}\right\} \tag{0.3}$$

由有限个元素组成的集合称为**有限集**(finite set)，由无限个元素组成的集合称为**无限集**(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，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：

$$B\subset A \text{ 或者 } A\supset B \tag{0.4}$$

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 $B\supset A$ 时，可以表示为：

$$A=B \tag{0.5}$$

称为**相等集合**。当 A 和 B 不是相等集合时，可以写为：

$$A\neq B \tag{0.6}$$

当 $A\supset B$ 且 $A\neq B$ 时。可以表示为：

$$A \supsetneqq B \tag{0.7}$$

称为集合 B 是集合 A 的**真子集**(proper subset)。用图表示为图 0.1。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。

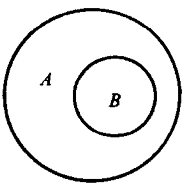

图 0.1 真子集
(Venn 图)

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

$$A-B=\{x\mid x\in A, x\notin B\} \tag{0.8}$$

用图表示差集为图 0.2。

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

$$S-S_i=\widetilde{S}_i \tag{0.9}$$

称 $\widetilde{S}_i$ 为 S_i 对于集合 S 的**补集**（complement 或者 complement set）（参见图 0.3）。可以清楚地知道，$\widetilde{S}_i$ 的补集仍是 S_i。即

$$\widetilde{\widetilde{S}}_i=S_i \tag{0.10}$$

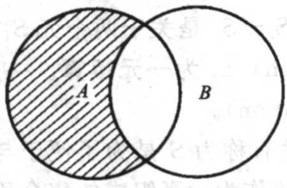

图 0.2 差集（$A-B$）

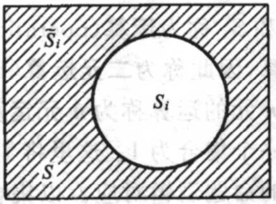

图 0.3 补集（$\widetilde{S}_i=S-S_i$）

【例题 0.1】 集合 S 为

$$S=\{a,b,c,d\} \tag{0.11}$$

$$S_1=\{a,b\} \quad S_2=\{c,d\} \quad S_3=\{a,b,c\} \tag{0.12}$$

等均是真子集，则

$$\widetilde{S}_1=S_2 \quad \widetilde{S}_3=\{d\} \tag{0.13}$$

而且 S 的子集个数为 $2^4=16$ 个。如此考虑，则只要见表 0.1 即可知道。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

表 0.1 集合 $\{a,b,c,d\}$ 的子集

	a	b	c	d	部分集合
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	$\{b,c\}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	1	1	1	1	$\{a,b,c,d\}$

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。

0.2.3 运算、幂集

有某集合 S,其子集为 $S_1,S_2,S_3,\cdots$。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)。前面定义了差集 S_i-S_j 和补集 $\widetilde{S}_i$,由集合 S_i 和集合 S_j 等求出的新的集合 S_i-S_j 和 $\widetilde{S}_i$ 称为**运算**(operation)。特别是,S_i-S_j 是关于两个元 S_i 和 S_j 的运算,因此称为**二元运算**(binary operation),$\widetilde{S}_j$ 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 I。这里将集合称为 I 而没有称为 S 是为了便于与后面所说的命题逻辑对应。以集合 I 的全部子集作为元素组成的集合称为**幂集**。表示为 $\boldsymbol{P}(\mathbf{I})$ 或者 $\mathbf{2^I}$。而且,称这个 I 为**全集**(universe,universal set)。以下没有预先说明,写为 $\widetilde{S}$ 指的是关于 I 的补集。

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**,子集称为**子空间**。

0.2.4 并(并集)、交(交集)、恒等式

由至少属于集合 A 和集合 B 一方的元素的全体组成的集合称为 A 和 B 的**并**(union),或者称为**并集**(sum set),表示为 $A\cup B$。即

$$A\cup B=\{x\mid x\in A \text{ 或者 } x\in B\} \tag{0.14}$$

用图表示为图 0.4(a)。由定义可得:

$$A\cup B=B\cup A \tag{0.15}$$

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**(join,intersection)或者**交集**(product set)。用 $A\cap B$ 表示。即

$$A\cap B=\{x\mid x\in A, x\in B\} \tag{0.16}$$

用图表示为图 0.4(b)。由定义可以清楚地知道:

$$A\cap B=B\cap A \tag{0.17}$$

在幂集 $\boldsymbol{P}(\boldsymbol{I})$ 中,如果定义了两个二元运算 $\cup$ 与 $\cap$ 及一个一元运算 $\widetilde{A}$,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的定理。