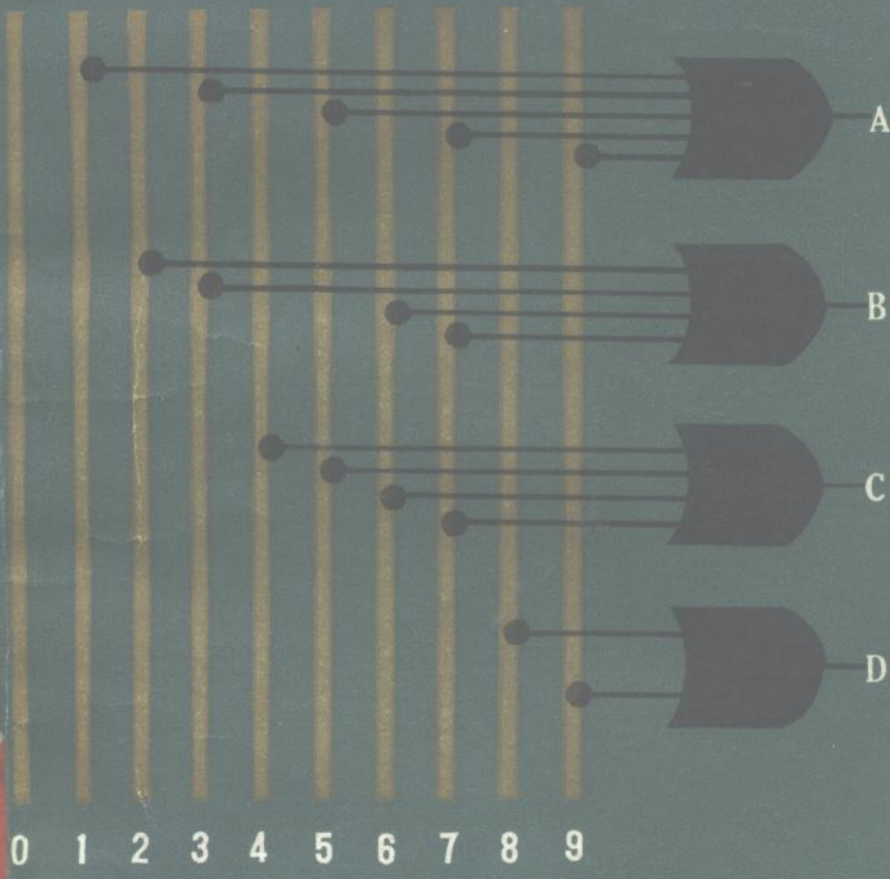
数字电路实用基础

〔日〕石坂阳之助　著

冯重熙　译



高等教育出版社

73.7297

数字电路实用基础

[日] 石坂阳之助 著
冯 重 熙 译

高等教育出版社

Dt5/15

内容提要

本书是一本基础参考书，供学习基本数字电路用。

主要内容有：二进制与十进制、逻辑代数、逻辑电路、集成逻辑电路、记忆电路、计数电路、运算电路等。各章都附有精选的例题，共163道，还提供了一定数量的习题及部分解答。全书叙述条理清楚、简明扼要，并通过分析例题使读者加深对基础理论的理解，因此适于自学，并较实用。

可供高等工科院校无线电技术、计算机等专业师生阅读参考，也可供有关专业科技人员自学参考。

ディジタル回路基本演習
石坂阳之助 著
工学図書株式会社
1977

数字电路实用基础
[日] 石坂阳之助 著
冯 重 熙 译
•
高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
国营五二三厂印装
•
开本 850×1168 1/32 印张 8.25 字数 200,000
1982年5月第1版 1983年12月第1次印刷
印数 00,001—15,700
书号 15010·0410 定价 1.25 元

前　言

在日本，大约是从昭和33年(即1958年)开始使用电子计算机的。其后二十余年来，电子计算机的技术进展非常显著。而且在科学技术、会计工作以及自动控制领域里已广泛应用，其应用面不可估量。最近，随着微计算机和计算器的普及，人们对计算机的关心日益增加。

在当前，实际上不仅从事电子计算机工作的技术人员，而且还有以学生、业余爱好者为首的很多人都接触电子计算机，都呼吁有必要深入地了解其电路计算和设计方法。

本书就是从这点出发而编写的一本数字电路实用基础用书，供学习基本数字电路用，而数字电路是电子计算机的基础。为便于初学者也能理解，作了浅显易懂的说明，给出了丰富的例题，并且是按便于系统学习的方式编写的。

为了能收到充分的学习效果，执笔时注意了下列各点。

(1) 在各章都加了原理性说明，并对学习例题所需的重要问题作了重点说明。

(2) 为了便于连贯地学习，对例题作了精选，且加了思考方法说明，而解的提示和补充说明是为了利于问题的求解而加的。

(3) 例题之后，适当地插入了一些注释和参考项目，以补充正文之不足，并以期扩展知识。

(4) 在各章之末汇总了一些习题，以便确认对每章理解的程度，并于书后尽可能多地给出了略解。

(5) 作为电路设计的参考资料，在附录中给出了最新的数字集成电路(IC)的规格及其应用举例。

(6) 书中尽量避免用难懂的数式及复杂的电路，而列举了许多具体例子。

另外，各章的主要内容和特点如下：

第一章 为了熟习作为数字电路二值工作基础的二进制处理方法，叙述了二进制和十进制的关系及二进制四则运算的方法。

第二章 不仅用数式，而且也用图表（维恩图、卡诺图）和继电器电路，来说明数字电路逻辑设计所必需的逻辑代数定理和基本公式。

第三章 介绍了逻辑电路设计所必需的基本逻辑元件的种类和功能，叙述了逻辑电路的基本组成方法。

第四章 列举了组成数字电路的主要数字集成电路(IC)，并就其种类、结构和功能作了叙述，具体说明了实际IC逻辑电路的组成。

第五章 说明了引入时间要素的记忆元件——触发器的种类和其工作原理，给出了移位寄存器作为其具体应用举例。

第六章 详细地介绍了用触发器组成计数器的方法，明确了同步式和异步式的差异。

第七章 简洁地叙述了构成电子计算机运算器核心的四则运算电路的基本组成及其工作原理。

在编写时，由于工作较忙，定有不完善和不满意之处，就此期待诸位读者的指教，以期将来能使其完善。

从计划出版此书开始，作者就长期蒙受工程图书出版社的长岛正喜先生的关怀，对此深表谢意。

编者

1977 年新春

目　　录

第一章　二　进　制

第二章　逻 辑 代 数

第三章 逻 辑 电 路

第四章 集成逻辑电路

第五章 记忆电路

第六章 计数电路

第七章 运 算 电 路

附 录

第一章　二　进　制

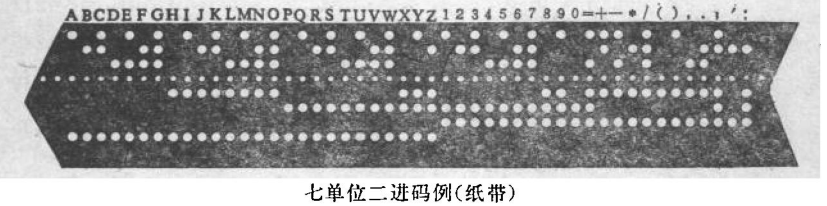
我们日常用的**十进制**(decimal notation)是一种方便的计数方式，这是由于我们用惯了它。但是在电子计算机和自动控制领域里广泛地使用着二进制(binary notation)。其原因是要区分十进制中各位数，要有区分十个状态的元件(二极管、晶体管等)，而二进制仅需要能区分两个状态的元件就可以表达全部信息，所以电路可简单、经济。

本章主要学习二进制的基本性质和运算方法，并讨论二进制与十进制等的关系。

数字与模拟

表示数或量有**数字**(digital)表示和**模拟**(analogue)表示两种方法。数字①表示是一个个数数量，用其数值来表示的方法，也叫做**计数式**。新型的钟表或测试仪器中使用数字表示。

与此对应，模拟表示是把数量变换成物理量(电压、长度、角度



七单位二进码例(纸带)

① digital 出自拉丁语的 digitus (即指头)，它的由来是因数数时要用手指的缘故。

等)表示的方法，也叫做**类似式**。老式的钟表或指示器多为模拟表示。

1.1 二进制与十进制

二进制的特点是：仅用 0 和 1 两个数字① 的组合就可表示所有的数。这里，0 的后面是 1，1 的后面是 2，变为 2 时，往上进一位，以 10表示，随后是 11，100，101，……按这样，将位数增加下去，多大的数都可以表示。但是，用二进制表示的**二进数**(binary number)比起用十进制表示的**十进数** (decimal number)，一般来讲，位数多，不习惯的话，不易理解。

因而，有必要充分理解二进制和十进制的相互关系。

(1) 数的表示

在十进制中，可用 0～9 的十个数字表示所有的数，十进数可以用 10 的幂的整数倍之和来表示。

例如，十进数的 235 可表示为

$$\begin{aligned}235&=200+30+5\\&=2\times10^2+3\times10^1+5\times10^0\end{aligned}$$

这里，10^0，10^1，10^2，……叫做十进制的权(weight)，10 称做十进制的**基数**(radix)。

与此对应，二进制是以 2 为基数，仅用 0 和 1 来表示数，从最低位开始将 2^0，2^1，2^2，2^3，……的权加在上面。

这样，二进数的 1101 则为

$$\begin{aligned}1101&=1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0\\&=8+4+0+1=13\end{aligned}$$

这数相当于十进数的 13。

---

① 可使用任意符号，为方便起见，用十进制的 0 与 1。

一般用 r 进制表示的 n 位正整数 M 可以写成下列形式:

$$M=(a_{n-1}a_{n-2}a_{n-3}\cdots a_0)_r$$
$$=a_{n-1}r^{n-1}+a_{n-2}r^{n-2}+a_{n-3}r^{n-3}+\cdots+a_0r^0$$

其中 $0\leqslant a\leqslant r-1$; r 为基数。

(注) 为了明确是 r 进制数, 使用$(\quad)_r$来表示, 但在不致混淆时, 可以省去。

(2) 二进数-十进数变换

二进数和十进数的对应关系如表 1.1 所示。

表 1.1 十进数-二进数对应关系

十进数	二进数
0	0
1	1
2	1 0
3	1 1
4	1 0 0
5	1 0 1
6	1 1 0
7	1 1 1
8	1 0 0 0
9	1 0 0 1
10	1 0 1 0
11	1 0 1 1
12	1 1 0 0
13	1 1 0 1
14	1 1 1 0
15	1 1 1 1
16	1 0 0 0 0

表 1.2 2^n 整数幂

2^n	权值
2^{10}	1024
2^9	512
2^8	256
2^7	128
2^6	64
2^5	32
2^4	16
2^3	8
2^2	4
2^1	2
2^0	1
2^{-1}	0.5
2^{-2}	0.25
2^{-3}	0.125
2^{-4}	0.0625
2^{-5}	0.03125
2^{-6}	0.015625

二进数变为十进数的方法, 或相反, 将十进数变为二进数的方法可以有很多种, 如果介绍其中最基本的方法, 则如下:

第一种方法: 是将相应的权值(2^n)加在二进数的各位上的方

法，这种方法可简单地将二进数变换为十进数。

例如，将$(1011)_2$变为十进数时，

$$\begin{array}{cccc} 1 & 0 & 1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2^3 & 2^2 & 2^1 & 2^0 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \therefore\quad (1011)_2 &= 1\times 2^3+0\times 2^2+1\times 2^1+1\times 2^0 \\ &= 8+2+1 \\ &= (11)_{10} \end{aligned}$$

这时必须知道二进数各位的权值，因此记住表 1.2 所示 2^n 整数幂的值时较方便。

第二种方法： 是把二进数各位从最低位开始，每四位划成一组，各组分别变换为十进数，然后乘以 16^n 的权再相加的方法。

例如，把$(10100101)_2$进行十进变换时，先把二进数分组，然后逐个组作十进变换，

$$\underbrace{1010}_{10}\ \underbrace{0101}_{5}$$

再把它们分别乘以组的权 16^1、16^0，并相加，即

$$\begin{aligned} (10100101)_2 &= 10\times 16^1+5\times 16^0 \\ &= 160+5 \\ &= (165)_{10} \end{aligned}$$

这种方法和十六进制有关，对多位二进数作十进变换时非常有效。其他方法在例题中给出。

> **(例题 1.1)** 在六位二进数所能表示的数中，以十进数指出其最大者。

(思考方法) 一般用 n 位 r 进数能表示的数总共有 r^n 个，所以，n 位二进数有 2^n 个。因其中包括 0，所以作为数值的最大数，则为 2^n-1。

（解） $n=6$ 时，

$$2^n-1=2^6-1=64-1=63$$

所以最大数为 63。

（另解） 六位二进数的最大数是所有位为 1 的情况，所以

$$(111111)_2=32+16+8+4+2+1=63$$

这样做也可以。

> **（例题 1.2）** 将八位的十进数用二进数表示时，需要几位二进数？

（思考方法） n 位十进数和 x 位二进数所能表示的数分别有 10^n 和 2^x 个。因此，$2^x \geqslant 10^n$ 关系成立。从式

$$x \geqslant \log_2 10^n = n\log_2 10 = 3.3n$$

可以求得。

（解） $n=8$ 时，因有

$$x \geqslant 3.3n = 3.3\times 8 = 26.4$$

所以需 27 位二进数。

（注） 因 $10 \approx 2^{3.3}$，则有 $10^n \approx 2^{3.3n}$ 关系。这样，用二进数充分表示十进数时，需要有十进数位数的约 3.3 倍的位数。

> **（例题 1.3）** 将下列二进数变换成十进数。
>
> (1) 1 1 0 1 1　　(2) 1 0 1 0. 0 1 1

（思考方法） 把二进数各位所对应的权与该位的数相乘后全部加在一起即可。

（解）

$$\begin{array}{ccccc} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2^4 & 2^3 & 2^2 & 2^1 & 2^0 \end{array} \qquad \begin{array}{ccccccc} 1 & 0 & 1 & 0. & 0 & 1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2^3 & 2^2 & 2^1 & 2^0 & 2^{-1} & 2^{-2} & 2^{-3} \end{array}$$

$\therefore \quad (11011)_2 = 1\times 2^4 + 1\times 2^3 + 0\times 2^2 + 1\times 2^1 + 1\times 2^0$

$$=16+8+2+1=(27)_{10}$$

$$\therefore\quad (1010.011)=1\times 2^3+0\times 2^2+1\times 2^1+0\times 2^0+0\times 2^{-1}+1\times 2^{-2}+1\times 2^{-3}$$

$$=8+2+0.25+0.125=(10.375)_{10}$$

(注) 无论什么二进数,若最低位二进数为 1 时,是奇数;为 0 时,是偶数。记住这一点,验算时很方便。

> **(例题 1.4)** 将下列二进数变换成十进数。
> (1) 1 1 1 1 1 1 (2) 0. 1 1 1 1

(思考方法) 各位数字均为 1 的二进数,在其最低位加 1 以后,将进位成仅最高位(进位位)为 1,因此可以将这位数变换成十进数,然后再进行减 1 的运算,这会使计算简化。

(解) (1) $(111111)_2=(111111+1)_2-1$

$$=(1000000)_2-1$$

$$=2^6-1=64-1=(63)_{10}$$

(2) $(0.1111)_2=(0.1111+0.0001)_2-(0.0001)_2$

$$=(1.0000)_2-(0.0001)_2$$

$$=1-0.0625=(0.9375)_{10}$$

> **(例题 1.5)** 将下列二进数变换成十进数。
> (1) 110011001100 (2) 101001101001001

(思考方法) 从最低位起,每四位划成一组,并对其作十进变换,把各组的权值以 16 倍递增,然后相加。

(解) (1) $(110011001100)_2=\underbrace{1100}_{12}\underbrace{1100}_{12}\underbrace{1100}_{12}$

$$=12\times 16^2+12\times 16^1+12\times 16^0$$

$$=3072+192+12$$

$$=(3276)_{10}$$

(2) $(101001101001001)_2=\underbrace{101}_{5}\underbrace{0011}_{3}\underbrace{0100}_{4}\underbrace{1001}_{9}$

$$
\begin{aligned}
&=5\times16^3+3\times16^2+4\times16^1\\
&\quad+9\times16^0\\
&=20480+768+64+9\\
&=(21321)_{10}
\end{aligned}
$$

> **(例题 1.6)** 将下列二进数变换成十进数。
> (1) 1 0 1 1 1 1 0　　(2) 1 0 1 0 1 1 0 0 1

(思考方法) 把要变换成十进数的二进数用二进数的 1010 (十进数的 10)除，如果其商还可用 1010 除时，则继续除下去，这样反复处理下去，就可得到十进数各位数值。

(解) (1)

```
              1 0 0 1 …商(9)
1010 ) 1 0 1 1 1 1 0
       1 0 1 0
       -------------
             1 1 1 0
             1 0 1 0
       -------------
               1 0 0 …余数(4)
```

以上计算结果中，商相当于十进制中十位数的 9，余数为个位数的 4。因此$(1011110)_2=9\times10+4=(94)_{10}$。

(2)

```
              1 0 0 0 1 0 …商(34)
1010 ) 1 0 1 0 1 1 0 0 1
       1 0 1 0
       -----------------
             0 1 1 0 0
               1 0 1 0
       -----------------
                 1 0 1 …余数(5)
```

$$\begin{array}{r r l}
 & 11 & \cdots\text{商}(3) \\
1010 \overline{)} & 100010 & \\
 & 1010 & \\ \hline
 & 1110 & \\
 & 1010 & \\ \hline
 & 100 & \cdots\text{余数}(4)
\end{array}$$

以上计算结果意味着原二进数与十进数$(3\times10+4)\times10+5$等价。

因此，$(101011001)_2=340+5=(345)_{10}$

（注） 这种方法乍一看觉得复杂，但在电子计算机中经常使用。

（3） 十进数-二进数变换

十进数变为二进数的方法大致分两种。

第一种方法： 是将十进数用 2^n 连减的方法。

例如，将$(23)_{10}$从 2^n 高次幂按顺序连减时，有

表 1.3 计算例

$$\begin{aligned}
23-&\ 2^4 = 23-16=7 \\
7-&\ 2^2 = 7-4=3 \\
3-&\ 2^1 = 3-2=1 \\
1-&\ 2^0 = 1-1=0
\end{aligned}$$

$$\begin{array}{r r l}
 & 23 & \\
-) & 16 & =2^4\cdots 1 \\ \hline
 & 7 & \\
-) & 8 & =2^3\cdots 0 \\ \hline
 & 7 & \\
-) & 4 & =2^2\cdots 1 \\ \hline
 & 3 & \\
-) & 2 & =2^1\cdots 1 \\ \hline
 & 1 & \\
-) & 1 & =2^0\cdots 1 \\ \hline
 & 0 &
\end{array}$$

从上往下排起

所以 $(23)_{10}=2^4+2^2+2^1+2^0=(10111)_2$

这种运算用机器进行时，如表 1.3 的计算示例，将十进数从 2^n 高次幂依次连减，能减则写作 1，不能减则写作 0，这样，从上往下排起，立刻得到二进数。

第二种方法： 是将十进数用 2 连除的方法。