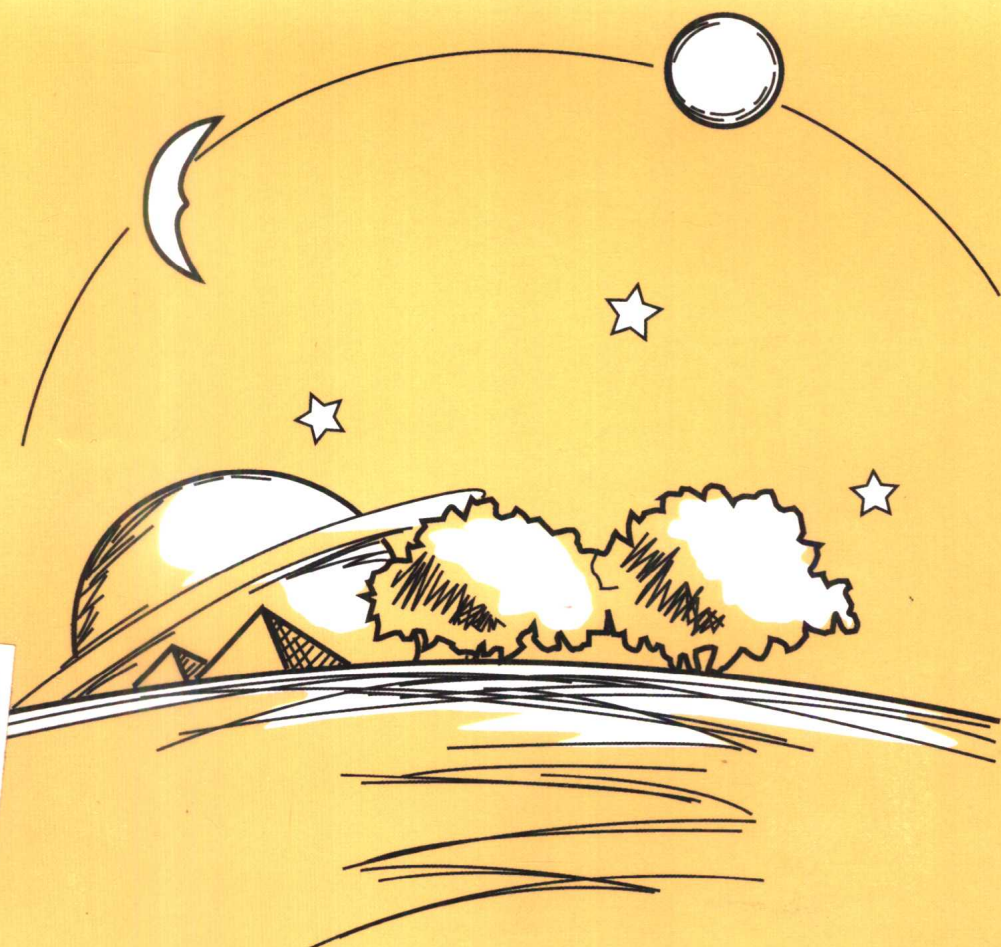


图解电子电路系列

5

数字电路

〔日〕 伊藤恭史 著



科学出版社

OHM 社

图解电子电路系列⑤

数 字 电 路

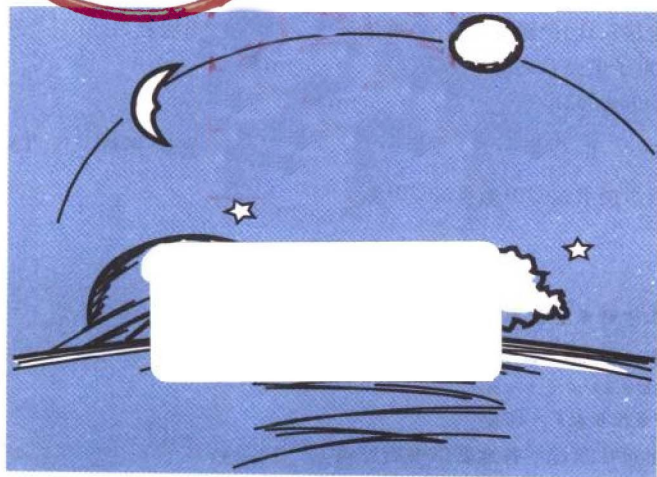


〔日〕伊藤恭史 著

韦琳

译

潘桂堂



科学出版社 OHM 社

2001

图字: 01 - 97 - 1037 号

Original Japanese edition

Etoki Denshik Alpo Shlrhzu ⑤ Deljitaru Kalro

by Yasuji Itou

Copyright © 1988 by Yasuji Itou

published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co published by Ohmsha, Ltd., And
Science Press

Copyright © 1997

All rights reserved

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

絵とき電子回路シリーズ⑤

デジタル回路

伊藤恭史 オーム社 1988

图书在版编目(CIP)数据

数字电路/[日]伊藤恭史著. 韦琳等译. —北京:科学出版社, 1997

(图解电子电路系列⑤)

ISBN7-03-006215-9

I. 数… II. ①伊… ②韦… III. 数字电路-基本知识-图解 IV. TN79-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 18937 号

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

1997 年 12 月第 一 版 开本: A5(889×1230)

2001 年 3 月第二次印刷 印张: 7 3/8

印数: 5 001—10 000 字数: 226 000

定 价: 17.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈新欣〉)

前 言

现代人把古代人的梦想一个一个地变成了现实,时间也好,距离也好,作用力也好,都正在被人们随心所欲地利用,而为实现这一“随心所欲”,必不可少的工具就是信息处理。

如何处理信息是现代人的最重要课题。在量、速度、可靠性等方面,电子电路技术是实现信息处理的基础技术。与历史悠久的模拟技术相比,比较新的数字量处理技术对今天的信息时代的影响更大,它的一切是不可估量的。但人们认为,只有牢固的掌握基础知识,才能使应用技术得到更大的发展。

本书为**图解电子电路系列**的第5卷,是为那些想从现在开始学习电子电路的人写的。因而在写作本书时,我们考虑到这样一种情况,即在进行逻辑判断的数字电路已实现集成化的今天,我们把中小学时代学过的“集合”这一数学概念用到电子学中的触点电路(开关电路)中去。以什么为重点才能使读者理解现代数字电路技术呢?

写作本书时,我们力图使本书具有下述特点:

1. 通过把逻辑数学(布尔代数)与看得见、摸得着的触点(开关)电路进行比较,使所述内容易于理解。

2. 通过本书的学习,应使读者理解向以集成电路(IC)为代表的无触点电路发展的途径。

3. 把存储电路(时序电路)的性质与触点电路相对比,以便于理解,在分析二者间的转换关系时力求简明易懂。

4. 大量使用在数字电路设计和时序控制电路分析中经常使用的图和表,目的是加强本书内容的深度和广度。

5. 为适应教学和实际应用的需要,也为了使初学者易于理解,本书中所使用的触点电路等的逻辑符号采用了日本JISC 0301的系列2。

由于书中利用了大量的图和表,因而叙述比较简炼。但由于书中给出的是读者们学习数字电路的重要基础知识,故作者相信,本书不仅对中专学生,对大专及大学本科生,以及对想从现在开始学习数字电路的在职职工都肯定会有所裨益。

最后,在本书出版之际,对允许我参考其著作的各位前辈,以及在本书编辑出版过程中给予大力帮助的欧姆出版社出版部的各位表示深深的谢意。

伊藤恭史

目 录

1 章 数字电路

1.1 数的表示方法	2
1.1.1 2 进制数	2
1.1.2 比特(bit)	3
1.1.3 2 进制小数的表示	5
1.1.4 基 数	6
1.1.5 16 进制数	6
1.1.6 2-10 进制码	6
1.1.7 负数的表示方法	7
1.2 数字与模拟的区别	10
1.2.1 以手表为例	10
1.2.2 计算尺和算盘	11
1.2.3 模拟计算机与数字计算机	12
1.3 数字器件和逻辑符号	15
1.3.1 缓冲器门电路	15
1.3.2 非(NOT)门电路	16
1.3.3 与(AND)门电路	17
1.3.4 或(OR)门电路	18
1.3.5 与非(NAND)门电路	19
1.3.6 或非(NOR)门电路	19
练习题	21

2 章 门电路

2.1 门电路与逻辑数学	24
2.1.1 AND 门、OR 门及 NOT 门电路 ..	24
2.1.2 布尔代数的公理和电路	25

2.1.3	布尔代数的定理 I	26
2.1.4	布尔代数的定理 II	27
2.1.5	布尔代数的定理 III	29
2.2	触点电路与门电路	31
2.2.1	AND 门电路	31
2.2.2	OR 门电路	32
2.2.3	NOT 门和缓冲器电路	33
2.2.4	NAND 门电路	34
2.2.5	NOR 门电路	36
2.2.6	正逻辑和负逻辑 I	37
2.2.7	正逻辑和负逻辑 II	39
2.3	门电路与真值表	42
2.3.1	AND 门电路	42
2.3.2	OR 门电路	43
2.3.3	NOT 门电路	44
2.3.4	输出为恒值的电路 I	45
2.3.5	输出为恒值的电路 II	46
2.4	输入输出信号的时间图	48
2.4.1	AND 和 OR 门电路	48
2.4.2	NOT、NAND 和 NOR 门 电路	49
2.4.3	Exclusive OR(异或)门 电路	50
2.4.4	多路开关	51
2.4.5	多路分离器	52
2.5	用卡诺图简化电路	55
2.5.1	OR 电路和卡诺图	55
2.5.2	3 变数的卡诺图	56
2.5.3	4 变数的卡诺图	57
2.5.4	和积表示的卡诺图	58
2.5.5	冗余输入和卡诺图	61

2.6 各种门电路	62
2.6.1 三态缓冲器电路	62
2.6.2 用二极管组成的门电路	63
2.6.3 DTL 门电路	64
2.6.4 TTL 门电路	65
2.6.5 P MOS-FET 构成的门电路	67
2.6.6 N MOS-FET 构成的门电路	68
2.6.7 C MOS-FET 构成的门电路	70
练习题	73

3 章 触发器电路的作用

3.1 触发器电路的触点电路	76
3.1.1 自保持电路	76
3.1.2 有两个稳定值的电路	77
3.1.3 用 NOR 门构成的 $\bar{R} \cdot \bar{S}$ -FF 电路	78
3.1.4 停止优先自保持电路	79
3.1.5 由 NAND 门构成的 $\bar{R} \cdot \bar{S}$ -FF 电路	80
3.1.6 由 NAND 门构成的 $R \cdot S$ -FF 电路	82
3.2 触发器电路的真值表	84
3.2.1 自保持电路的真值表	84
3.2.2 具有 2 个稳定值的电路的 真值表	85
3.2.3 用 NOR 门构成的 $\bar{R} \cdot \bar{S}$ -FF 电路的真值表	86
3.2.4 停止优先自保持电路的 真值表	88
3.2.5 用 NAND 门构成的 $\bar{R} \cdot \bar{S}$ -FF 电路的真值表	89
3.2.6 由 NAND 门构成的 $R \cdot S$ -FF	

电路的真值表	90
3.3 输入输出信号的时间图	92
3.3.1 自保持电路的时间图	92
3.3.2 两个稳定值电路的时间图	93
3.3.3 用 NOR 门构成的 $\bar{R} \cdot \bar{S}$ -FF 电路的时间图	94
3.3.4 停止优先自保持电路的 时间图	96
3.3.5 用 NAND 门构成的 $\bar{R} \cdot \bar{S}$ -FF 电路的时间图	98
3.3.6 用 NAND 门构成的 R · S-FF 电路 的时间图	98
3.4 用状态转移表分析 FF 电路	100
3.4.1 自保持电路的状态转移表	100
3.4.2 两个稳定值电路的状态转 移表	101
3.4.3 用 NOR 门构成的 $\bar{R} \cdot \bar{S}$ -FF 电 路的状态转移表	102
3.4.4 停止优先自保持电路的状态 转移表	103
3.4.5 由 NAND 门构成的 $\bar{R} \cdot \bar{S}$ -FF 电路的状态转移表	104
3.4.6 由 NAND 门构成的 R · S-FF 电路的状态转移表	106
3.5 触发器电路的合成与变换	108
3.5.1 R · S-FF 电路的合成	108
3.5.2 同步式 R · S-FF 电路 的合成	109
3.5.3 D-FF 电路的合成	110
3.5.4 自锁 R · S-FF 电路的合成	111
3.5.5 反馈式 J · K-FF 电路的合成 ...	112
3.5.6 T-FF 电路的合成	113

3.6 各种触发器电路	116
3.6.1 置位优先 R·S-FF 电路	116
3.6.2 T-FF 电路	117
3.6.3 带预置的 D-FF 电路	118
3.6.4 带预置端子的 CP-R·S-FF 电路	119
3.6.5 D 锁存电路	121
3.6.6 主从 J·K-FF 电路	121
练习题	123

4 章 计数器

4.1 2 进制计数器	126
4.1.1 2 进制减法计数器	126
4.1.2 2 进制加法计数器	127
4.1.3 2 进制可逆计数器	128
4.1.4 4 位 2 进制加法计数器	129
4.1.5 4 位 2 进制减法计数器	130
4.2 n 进制计数器	131
4.2.1 可计数到 $2^n - 1$ 的计数器	131
4.2.2 n 进制计数器	132
4.2.3 10 进制计数器	133
4.2.4 8 进制计数器	134
4.2.5 6 进制计数器	135
4.2.6 3,4,5 进制计数器	136
4.3 其他计数器	138
4.3.1 同步式 8 进制加法计数器	138
4.3.2 同步式 8 进制减法计数器	139
4.3.3 同步式 10 进制加法计数器	140
4.3.4 环形计数器	141
4.3.5 扭(twist)环形计数器	142
练习题	144

5 章 存储器

5.1 存储器	146
5.1.1 用开关进行存储 I	146
5.1.2 用开关进行存储 II	147
5.1.3 保持型继电器的存储功能	148
5.1.4 磁芯的存储功能	149
5.1.5 门电路的存储功能	151
5.2 IC 存储器的使用方法	153
5.2.1 IC 存储器的种类和用途	153
5.2.2 移位寄存器的存储功能	154
5.2.3 静态 RAM 的使用方法	155
5.2.4 EP-ROM 的使用方法	155
5.2.5 P-ROM 的使用方法	157
练习题	159

6 章 数字电路的应用

6.1 用于控制的数字电路	162
6.1.1 正反转控制电路	162
6.1.2 电动机的正反转电路	163
6.1.3 启动控制电路	164
6.1.4 三相电动机的 Y- Δ 运转 电路	166
6.1.5 人行横道的信号机电路	168
6.2 运算电路	170
6.2.1 半加器电路	170
6.2.2 全加器电路	171
6.2.3 减法器电路	172
6.2.4 串行加法运算电路	174
6.2.5 串行减法运算电路	175
6.3 接 □	177
6.3.1 IC 与 LED 显示电路的接口 ...	177

6.3.2	TTL 与 CMOS 的接口	178
6.3.3	CMOS 与 TTL 的接口	179
6.3.4	触点电路与 IC 电路的接口	181
6.3.5	IC 与继电器电路的接口	182
6.3.6	CPU 和数据总线之间的接口	184
6.3.7	接口 IC	184
6.4	信号变换电路	187
6.4.1	10 进制→BCD 编码器	187
6.4.2	BCD→10 进制译码器	188
6.4.3	把 BCD 变换为 7 段 10 进制显示的变换器	190
6.4.4	数据选择器	191
6.4.5	多路分离器	193
6.5	D/A, A/D 变换器	196
6.5.1	D/A, A/D 变换器的基础	196
6.5.2	有反馈回路的运放	197
6.5.3	电流相加式 D/A 变换器	198
6.5.4	同相放大器	200
6.5.5	电压相加式 D/A 变换器	202
	练习题	204
	练习题解答	205

1 章

数字电路

人们在数数的时候，大概没有一下子注意到正在使用手指。而弯曲手指比作的数字量是把人们生活中数量进行数字化的例子。本章中将介绍数字电路的基础知识。

每天，收音机和电视机都不断地把已转换成电信号的信息送到人们家中。这些信号中的大部分是已转换成模拟量并已进行过处理的信号。然而，也就在该领域，现在也正在不断地被以计算机为代表并已广为使用的数字信号取而代之。本章将通过与模拟量的对比来重新认识数字量。

1.1 数的表示方法

1.1.1 2 进制数

如果用表达两种状态的方法来表示 1 个数位,就是 2 进制数的表示方法。比如手指头,可以弯下也可以伸直,若令弯下的状态与“1”对应,伸直的状态与“0”对应,则用手指就可以表示 2 进制数。图 1.1 示出了把右手的拇指弯下来表示第 1 位数。由于一只手有 5 个手指,故可以表达 5 位数。图 1.1 所表示的是“00001”。由于食指是第 2 位,所以图 1.2 所示即为“00010”。

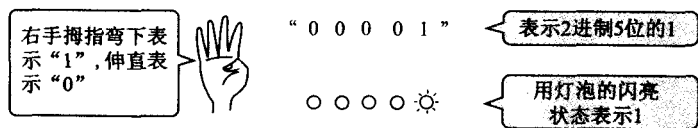


图 1.1 用手指表示 2 进制数的“1”

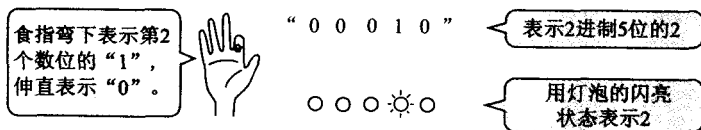


图 1.2 用灯泡表示 2 进制数的“2”

如果用人们通常所用的 10 进制数来表达的话,则数字 0~9 用 1 个数位即可表示,但是 2 进制的数却只有“0”和“1”两个值。因此,“2”就必须用第 2 个数位来表示。然而,不管是谁,在刚开始学数数时,都有过用两只手从 1 数到 10 的经历。在这种情况下,只能用 1 只手表示 5 个数,两只手表示 10 个数。所以只能记忆 10 进制数的 1~10。可是如果采用图 1.1、1.2 所示方法,则可以表达到 10 进制数的 1~1023。

表 1.1 给出了 10 进制数的 $(0)_{10} \sim (15)_{10}$ 和 2 进制数的 $(0)_2 \sim (1111)_2$ 的表示方法。这里, 为防止混淆, 10 进制数用 $(\quad)_{10}$ 表示, 2 进制数用 $(\quad)_2$ 表示。

10 进制数用 1 个数位即可表示 $(1)_{10} \sim (9)_{10}$, 但若用 2 进制数表示, 则由于 $(9)_{10}$ 是 $(1001)_2$, 故 10 进制数中的 9 在 2 进制数中需用 4 个数位表示。另外, 由于 $(111)_2 = (7)_{10}$, 故用 2 进制数的 3 个数位只能表示到 10 进制数的 7; 由于 $(1111)_2 = (15)_{10}$, 则 2 进制数的 4 个数位可以表达达到 10 进制数的 15。

表 1.1 2 进制数与 10 进制数的比较

2 进制数	10 进制数
0	0
1	1
10	2
11	3
100	4
101	5
110	6
111	7
1000	8
1001	9
1010	10
1011	11
1100	12
1101	13
1110	14
1111	15

1.1.2 比 特 (bit)

在 2 进制中, 把相当于位的数叫作比特 (bit; binary digit)。现在看一

下各个数位所表示的数。由表 1.1 可知, 2 进制数中第 1 个数位的“1”表示 $(1)_{10}$, 第 2 个数位的“1”表示 $(2)_{10}$, 第 3 个数位的“1”表示 $(4)_{10}$, 第 4 个数位“1”表示 $(8)_{10}$ 。把这些整理归纳一下, 则成为表 1.2。一般来说, 2 进制数中第 n 个数位的“1”表示数值 2^{n-1} 。这个值叫作 2 进制数各个数位的权。

表 1.2 2 进制数的数位与权

n 位	各位的 2 进制数	权的 10 进制数	用乘方表示的权
1	1	1	2^0
2	10	2	2^1
3	100	4	2^2
4	1000	8	2^3
5	10000	16	2^4
6	100000	32	2^5
7	1000000	64	2^6
8	10000000	128	2^7
9	100000000	256	2^8
10	1000000000	512	2^9

其次, 考虑用灯泡的亮、灭表示数值的例子。图 1.3 示出了对应于数位 1、4、5 的灯泡的闪亮情况, 表示出的是权为 2^0 、 2^3 和 2^4 的数。因此, 用这 5 个灯泡所表示的数值是

$$\begin{aligned}
 (11001)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\
 &= 16 + 8 + 0 + 0 + 1 = 25
 \end{aligned}$$

图 1.3 所示示例中采用的是与右手的 5 个手指相对应的有 5 个数位的 2 进制数。最高位的数位(对于本例, 是第 5 个数位)一般叫作**最高有效位**(MSB: Most Significant Bit), 最低位的数位, 即第 1 个数位叫作**最低有效位**(LSB: least Significant Bit)

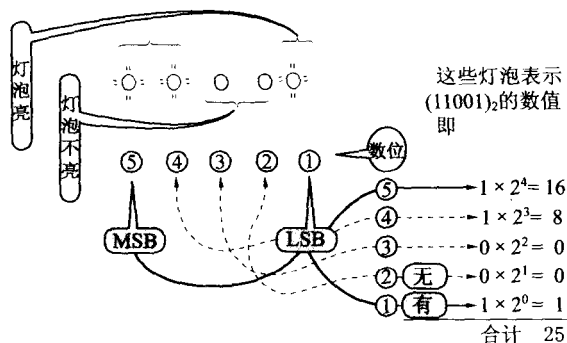


图 1.3 5 位数的示例

1.1.3 2 进制小数的表示

把 2 进制数的数位的权进行扩展，表 1.3 示出了 2 的 $-n$ 次方的数位的权。 2^{-n} 的位是比 1 小的小数。表中给出了直到小数点以后五位的权。 2^{-1} 是 $(0.5)_{10}$ ，在小数的数位中它的分量最重，是小数第 1 位的数位。同样， 2^{-n} 的数位是小数第 n 位的数位。

表 1.3 2 进制小数数位的权

2 进制小数 n 数位的权	2 进制小数的 10 进制表示
$2^{-0} = \frac{1}{2^0}$	1
$2^{-1} = \frac{1}{2^1}$	0.5
$2^{-2} = \frac{1}{2^2}$	0.25
$2^{-3} = \frac{1}{2^3}$	0.125
$2^{-4} = \frac{1}{2^4}$	0.0625
$2^{-5} = \frac{1}{2^5}$	0.03125