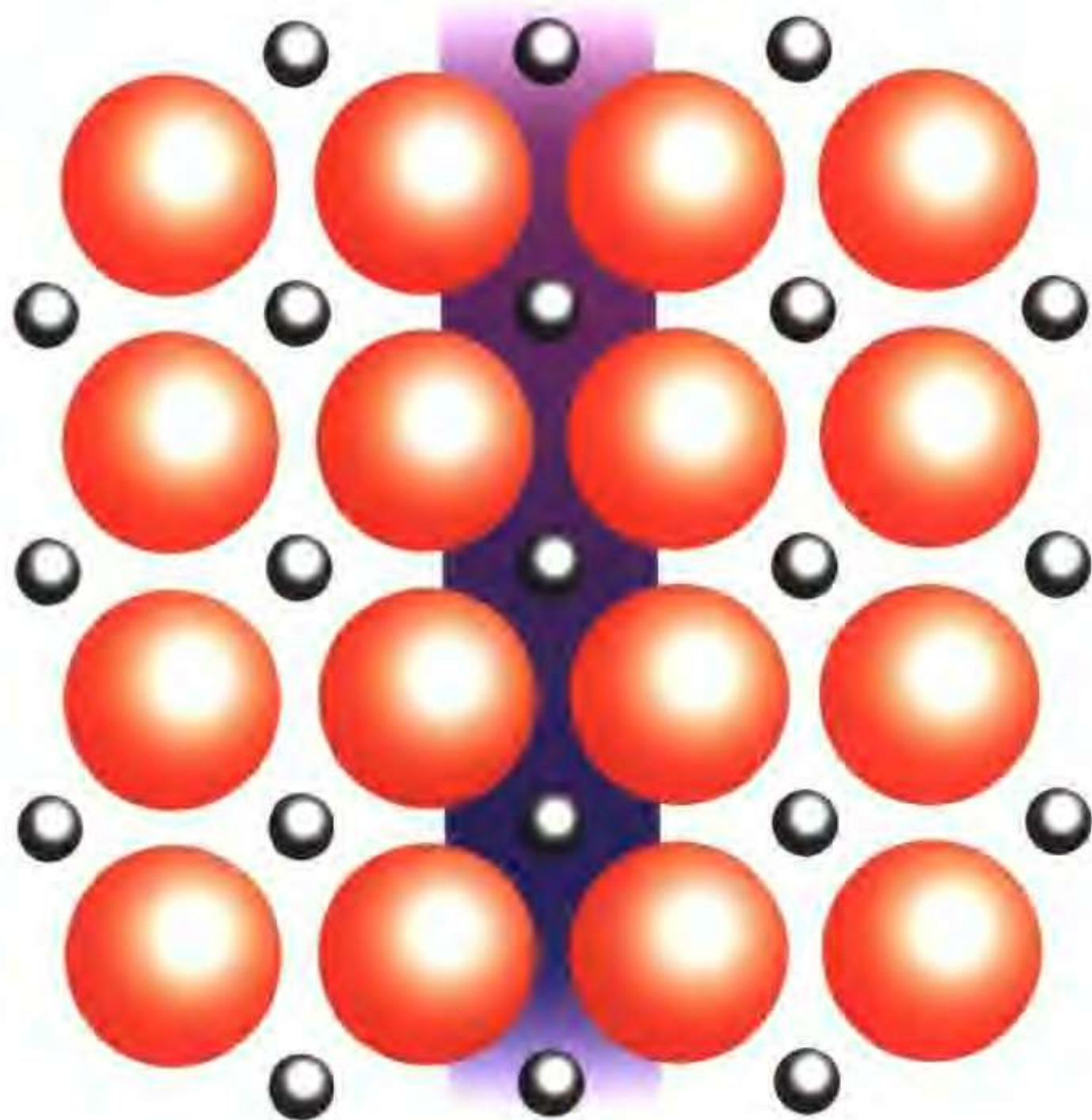


OHM 电子电气入门丛书

图  
解

# 数字电路

〔日〕 内山明治 堀江俊明 著



科学出版社

OHM社

(TN-0277.0103)

责任编辑 孙健霞 樊友民

封面制作 李 祥 段志刚

## OHM 电子电气入门丛书

图解电子电路

图解电子电路的计算

图解数字电路

图解数字电路的计算

图解电力技术

图解电力应用

图解电机电器

图解电气电子测量

图解电与磁

图解晶体管电路

图解运算放大器电路

图解通信

ISBN 7-03-008196-X



9 787030 081964 >

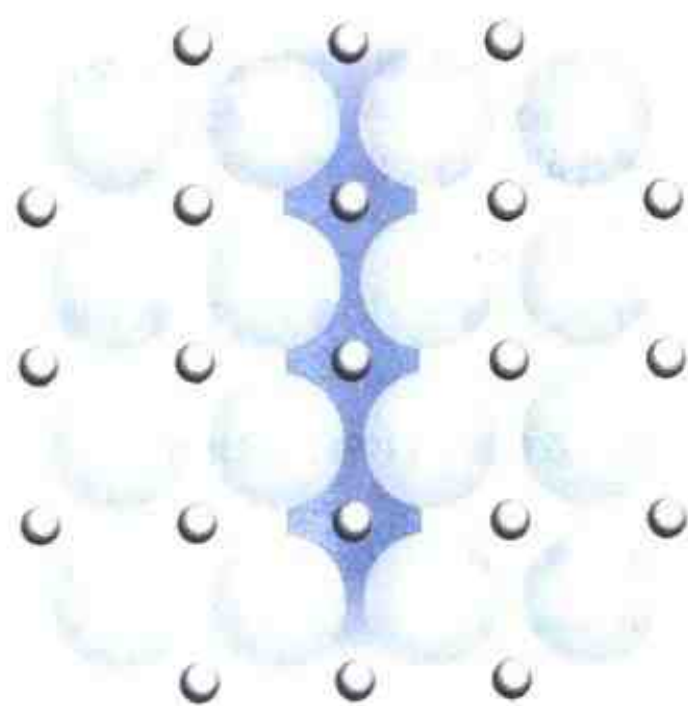
ISBN 7-03-008196-X/TN · 277

定 价: 17.00 元

OHM 电子电气入门丛书

# **图解** 数字电路

〔日〕内山明治 堀江俊明 著  
曹广益 译 钱允琪 校



科学出版社 OHM 社

2002 北京

## 内 容 简 介

本套丛书系引进欧姆社版权翻译出版的中文版图书。基本涵盖了有关电子电气方面的全部知识。内容简洁、重点突出、同时配以大量插图帮助讲解，具有较高的参考阅读价值。

本书共分8章。主要章节为：走进数字化、数字信号的产生、控制信号通过的电路（门电路）、计“数”的电路（计数器电路）、数字与电路的结合、信号的输入或输出电路（显示电路）、探索计算机的内部及应用电路和制作。

本书实用性强，可作为大、中专学生的参考书或教材，也适用于函授或自学。对于从事数字电路方面的技术人员及大、中专学校的教师有较高的参考价值。

## 作者简历

内山明治

1965年 日本大学工学部电气工学科  
毕业

现在 东京都教育文化财团

堀江俊明

1967年 中央大学工学部电气工学科  
毕业

现在 东京都立府中工业高等学校情  
报技术科教师

## 译、校者简历

曹广益

1964年 上海交通大学自动控制系毕业

现在 上海交通大学自动控制系教授

钱允琪

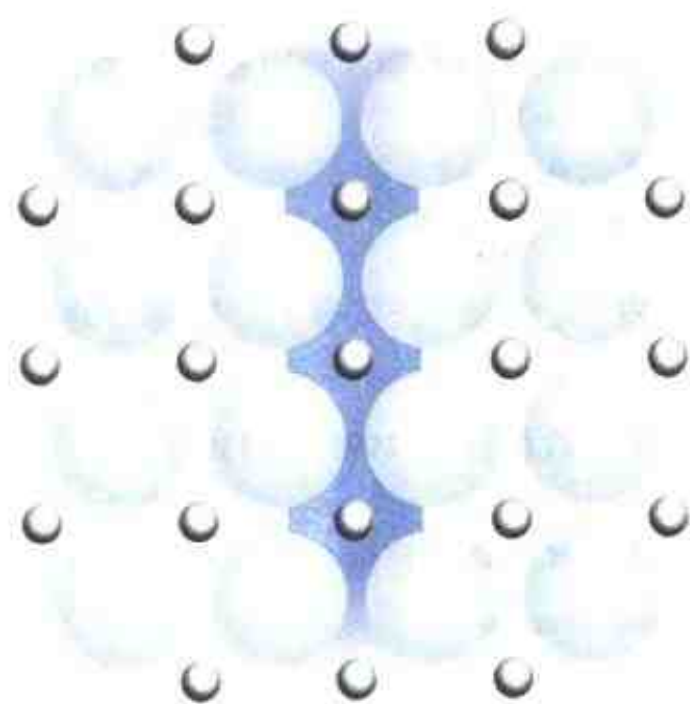
1966年 上海交通大学自动控制系毕业

现在 上海交通大学微机研究所自动  
控制室副研究员

OHM 电子电气入门丛书

# 图解 数字电路

〔日〕内山明治 堀江俊明 著  
曹广益 译 钱允琪 校



科学出版社 OHM 社

2002 北京

**图字:01-1999-2922 号**

Original Japanese edition

Etoki Dijitaru Kairo

by Akiharu Uchiyama and Toshiaki Horie

Copyright © 1983 by Akiharu Uchiyama and Toshiaki Horie

Published by Ohmsha, Ltd.

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

Copyright © 1999

All rights reserved

本书中文版版权为科学出版社和 OHM 社所共有

## **絵とき デジタル回路**

内山明治 堀江俊明 オーム社 1997 第1版第14刷

### **图书在版编目(CIP)数据**

图解数字电路. (日)内山明治,堀江俊明著;曹广益译.

—北京:科学出版社,2000

(OHM 电子电气入门丛书)

ISBN 7-03-008196-X

I. 图… II. ①内… ②堀… ③曹… III. 数字电路-图解

IV. TN79-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 73921 号

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

**科学出版社 OHM 社 出版**

—— 北京, 100070 邮政编码:100070

<http://www.sciencep.com>

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

2000 年 1 月第 1 版 开本: 850×1168 1/32

2002 年 3 月第一次印刷 印张: 5.5 8

印数: 8 001—11 000 字数: 148 000

**定 价: 17.00 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换 新欣)

# 前 言

电子电路已进入了数字时代。以计算机为代表,从自动控制、测量仪表到音响装置等,数字电路几乎遍及电子设备的各个领域。

那么,为什么数字电路的应用会这么广泛呢?与处理模拟信号的电路相比,它有哪些优点呢?

考虑到明确这一点是使初学者明确学习的目标,进而深刻理解数字电路的捷径。因而,在本书中,首先考虑的是如何通俗易懂地阐明这一点。这就是在第一章中要具体讲解的内容。

其次,在实际使用的数字电路中,大多是使用了集成电路(IC)。因此,即使对一些电路动作的细节不清楚,只要知道了IC的连接图和真值表,仍然可以理解电路工作的大概情况。但是,仅掌握这些,对电路知识的理解不可能深入,也不可能期望提高应用技术。只有理解了由晶体管和二极管所组成的基本电路的动作,才能够掌握IC的各种应用方法,了解电路内部的各种动作细节。所以,本书中明确讲述了使用晶体管和二极管的基本电路的各重要内容。并进一步讲述用IC构成的基本电路,尽量不造成晶体管电路与集成电路之间内容上的不连贯。

第三,由于一些读者是要通过本书学习数字电路的,所以,在书中我们尽量结合身边的各种现象及人类的活动方式,通俗易懂地讲述各项内容。例如讲T型触发器时,用“相当于一对1:2的齿轮”来说明。而对于如多谐振荡器和逐次比较型A/D转换器,因为其动作原理相当复杂,本书就尽量用比较易于理解的图解方法来说明。

本书不仅适用于高中生和中专学生,也适用于机械、化学等非电气、电子专业的技术人员。但是由于著者学识所限,书中难免



有讲述不够全面或遗漏的地方。对于这一点,希望各位专家和读者给予指正,以便今后改进。

最后,在本书出版之际,对于从内容构思到正式出版,始终给予著者极大帮助的欧姆社(OHMSHA)的各位,表示深深感谢。

著 者

# 目 录

## I 走进数字化

1.1 数字信号 .....	12
数字信号/电子电路中的信号/数字信号与模拟信号/脉冲与数字信号/产生数字信号的“规则”举例/微机的位数	
1.2 数字信号在“杂草丛中”不会埋没 .....	18
噪声与杂草相同/信号与噪声/数字信号与噪声的消除/数字音频	
1.3 用开关产生数字信号 .....	22
开关的动作与脉冲/二极管的开关动作/晶体管的开关动作/FET 的开关动作	
1.4 开关的条件与动作 .....	26
接点的振动和 ON、OFF 的动作时间/电子开关的动作时间和特性	
1.5 电子开关的动作与载流子 .....	28
水面上漂浮的草/烟熏眼睛	
1.6 数字信号与 RC 电路 .....	30
耐久力有多少(积分电路)/有否爆发力(微分电路)	
本章小结 .....	32

## II 数字信号的产生

2.1 振 子 .....	34
振子是振动的发生机/多谐振荡器	
2.2 自激多谐振荡器 .....	36
不会停止的多谐振荡器/放大电路与开关电路工作点的区别/通过 CR 产生延迟的开关电路/自激多谐振荡器的自由振荡和脉冲宽度/	

计算机的时钟脉冲/将方波脉冲输入到微分电路中	
2.3 双稳态多谐振荡器 .....	43
杠杆式多谐振荡器/电路的动作/触发脉冲和加速电容	
2.4 单稳态多谐振荡器 .....	48
“只有一次”的多谐振荡器/电路的动作和使用例子	
2.5 脉冲宽度与占空比 .....	50
脉冲宽度与占空比的计算/脉冲性能的掌握方法/如果通过电路,方波角就变圆	
本章小结 .....	54

### III 控制信号通过的电路(门电路)

3.1 门是收取通行费的地方吗? .....	56
门是控制能否通过的场所/数字电路中的门/高电平电压与低电平电压	
3.2 AND、OR 和 NOT 门 .....	58
3 种基本门电路(基本逻辑电路)/AND 门电路和动作/OR 门电路和动作/NOT 门电路和动作/各类门的输入与输出波形	
3.3 二重门的作用 .....	62
基本门的组合/NAND 门电路的组成和动作/NOR 门电路的组成和动作/电压的高、低(H、L)电平和 1、0 的表示	
3.4 由门组成的门电路 .....	66
选择器的功能/多路转换器/信号分离器	
3.5 门集成电路的实例 .....	68
门集成电路(逻辑 IC)/用 NAND 完成各种工作/这就是门集成电路	
3.6 用门集成电路组成的多谐振荡器 .....	72
用门集成电路组成的自激多谐振荡器/用门集成电路组成的触发器/混合使用 TTL 和	


CMOS 的 IC 时	
本章小结 .....	76

## IV 计“数”的电路(计数器电路) 附 录 一

4.1 钟表是一个计数器 .....	78
计数器只有齿轮与刻度/看不到车窗外风景 的旅行/T 型触发器/用 NAND 门组成带有 R 端子的 T 型触发器/电子齿轮均为 1:2	
4.2 单一的计数器能做什么(2 进制计数器 与 2 进制数) .....	84
2 进制 4 位计数器/电平动作表与时间流程 图/2 进制数与 10 进制数的比较	
4.3 N 进制的计数器 .....	88
在鸟的世界中,大概使用 6 进制吧!/10 进制 计数器/计数器的输出码/任何进制的计数器 均可自由组成(N 进制计数器)	
4.4 计数器 IC 的实用例子 .....	92
2 进制化 10 进制计数器用的 IC/12 进制计数器 IC 的例子	
本章小结 .....	94

## V 数学与电路的结合

5.1 只有 0 和 1 的世界 .....	96
简单的规定/0 和 1 世界中的积(逻辑乘)/ 1+1 不是 2 的和(逻辑和)/不是 0,则是 0 的 反面(否定)	
5.2 使用公式简化电路 .....	100
由于是 0 或 1,所以有以下情况/或者结合在一 起,或者分开/当公式仅为“非”时,可用 AND 和 OR 替换/不能除、不能减的讨论/公式变为电 路,电路变为公式/利用公式简化电路	
5.3 各种逻辑电路 .....	106
只有全部一致时,输出才为 1(一致逻辑电	

路)/表决时不用计数也可知道结果	
5.4 无论哪种要求都可以组成电路 .....	110
接受要求后,如何进行呢?/要求之一.....赞	
成限于只有一个人时/要求之二.....专横的	
经理的要求/小结	
5.5 进行加法运算的电路(加法器) .....	115
一半的加法器(半加器)/2个半加器则为1个	
加法器(全加器)/多位数的加法/减法运算用	
加法运算来进行	
5.6 运算电路的实验 .....	120
做 $1+1=1$ (逻辑运算)/做 $1+1=10$ (数值运算)	
本章小结 .....	122
 VI 信号的输入或输出电路(显示电路) 	
6.1 “位”与“字节”是信息单位 .....	124
信息的最小单位是“位”/“1字节”是8位	
6.2 编码器是翻译吗? .....	126
数值与文字的符号化/从10进制→2进制编	
码器的电路例子	
6.3 显示器 .....	130
联系人和数字机器的部件/放电显示管(数字	
管)/7段荧光管(LED)/液晶显示器(LCD)/荧	
光显示管	
6.4 译码器(解读器) .....	134
2进制→10进制译码器/译码器用的IC/7段	
译码驱动器IC	
6.5 A/D、D/A转换器 .....	138
A/D转换时信号的处理方法/转换器/D/A	
转换器/电压-时间转换的A/D转换器/逐	
次比较型A/D转换器	
本章小结 .....	144

## VII 探索计算机的内部

7.1 寄存器电路	146
并行寄存器/移位寄存器	
7.2 存储器电路	152
永远记忆的存储器/可存储又可消除的自由存储器	
7.3 CPU 的功能	156
7.4 存储器的实验	158
本章小结	160

## VIII 应用电路和制作

8.1 石英式数字钟表的制作	162
概论/电路的各个部分	
8.2 将钟表用的 IC 用于数字式钟表的制作	169
概论/显示电路/制作上的注意点/调整	
8.3 计算机的工作原理	173
硬件与软件/程序/信息在总线上来回运行/命令的种类/计算机的内部动作	
本章小结	180



# I

## 走进数字化

### ——数字电路的预备知识

---

当今文明社会的运作，是由大量的信息传送、交换、处理、存储支撑着的，因而，迫切要求信息质量的提高。

在这些信息传送及处理中，可以分为

①如电话、广播及声音那样处理连续的电流信号的线性电路。

②像电子计算机那样处理断续的电流信号的数字电路(包含脉冲电路)。

然而，现在即使在如同声音信号那样用线性电路来处理的领域中，只要有可能，都在进行向数字化方向转化的技术开发。

那么，现在为什么要推进数字化技术的发展呢？



# 1.1 数字信号

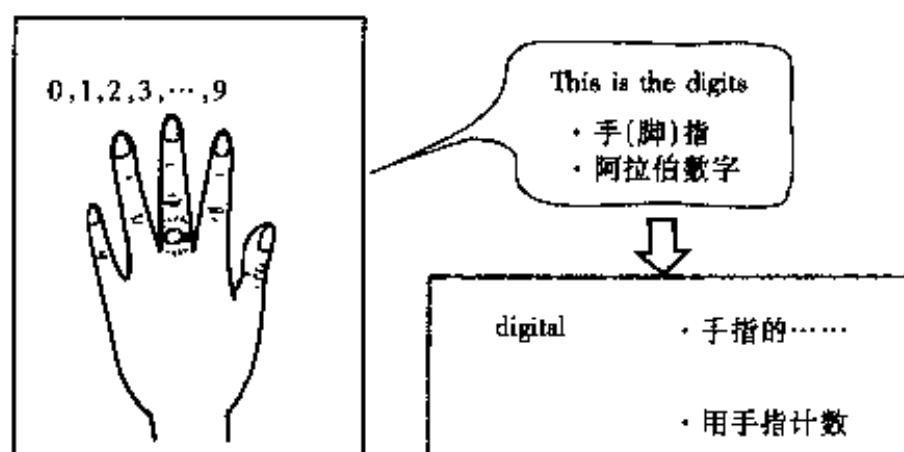
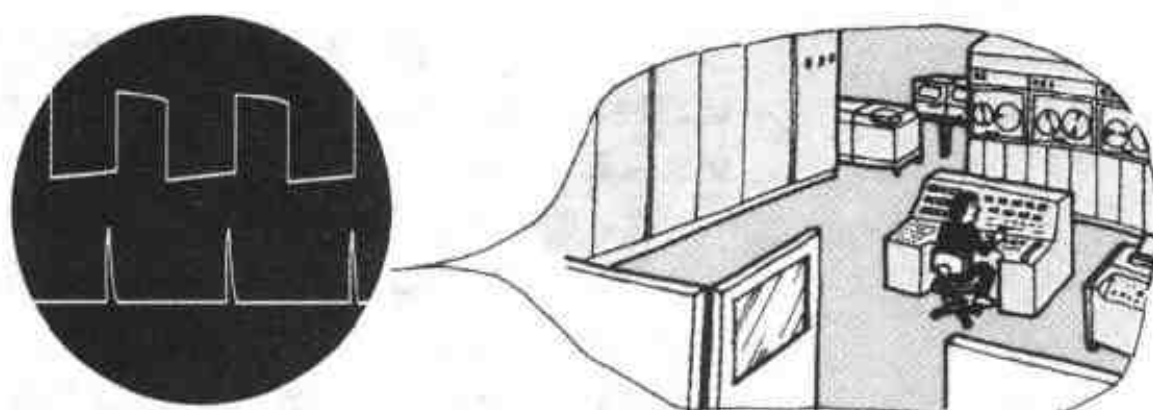


图 1.1 数字的意义



脉冲 - 数字电路

图 1.2 数字信号

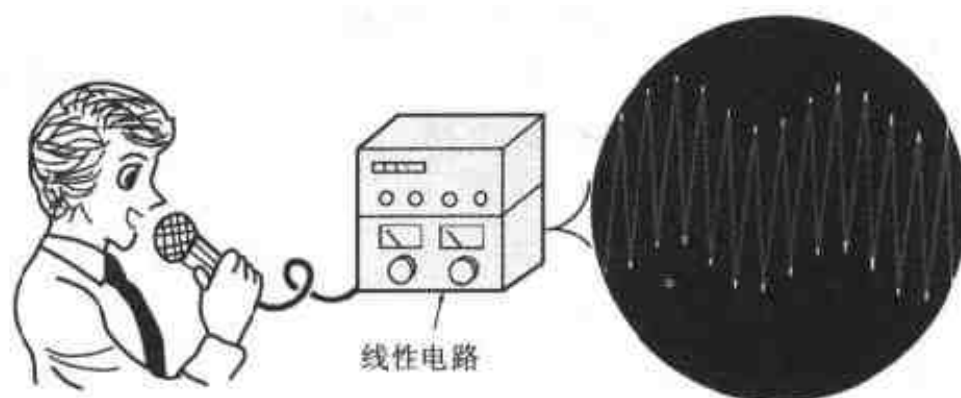


图 1.3 模拟信号

### 1.1.1 数字信号

古今中外的文章、诗歌中都有描述人的一双万能的手的字句,从文学的世界到最新的数字式电子计算机,优美、柔软的手指,引起了多少人的注意

digit 是指“手指(finger)、阿拉伯数字(0,1,2,⋯,9)”,在很久很久以前,人们扳着手指来计数。由此 digital computer 中的 **digital** 有“计数型的…”意义。

这一章中,希望读者能够理解计数型的电子计算机、计数型的电子测量仪器等数字电子机器为什么会被广泛使用的原因。

### 1.1.2 电子电路中的信号

在电动机、电热器中,只有用来输送能量的电流流动。而如图 1.4 所示,在音频放大器中,除了从电源处流入电流以外,还混有来自话筒处的声音电流。这个声音电流是由信息(讲话的内容或音乐等)经话筒转换而得到的,即为**信号**。

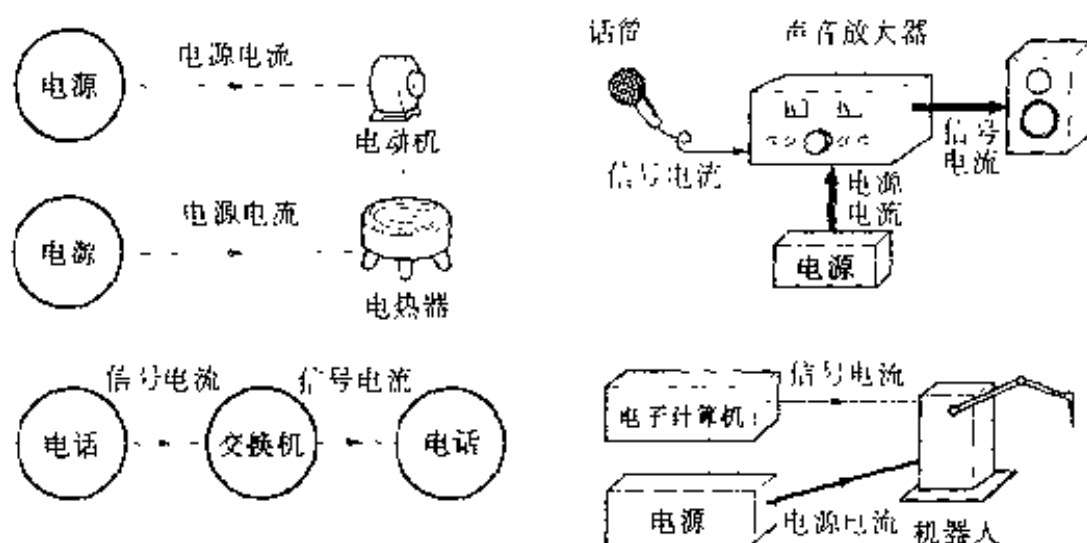


图 1.4 电源电流(电力)和信号电流(信息)

这样,在电子电路中,其特征为**电源电流**(提供能源)与**信号电流**(传送信息)混合流动。这与人体的心脏和血管网传送能量、脑与神经系统传送出信息(信号)以使人体能进行各种活动相似。

学习在“信息”变换成电信号时,用将“信息”转换为“数字信号”处理的电子电路,这就是本书的目的。

### 1.1.3 数字信号与模拟信号

“黑就是黑、白就是白……!”这是有吵架的味道,但也让人感到干脆、利落。而在电流情况下,电流流动着(ON),没有流动(OFF),或者电灯亮了,灭了却并不是很干脆利落的。

经常有电灯光变成粉红色、浅黄色,或者说电灯很暗之类不明朗的现象,这时测定与判断变得复杂,也容易出现判断误差。如果出现如图 1.5 所示的情况,那么,大家还愿意支付电费吗?



图 1.5 如果电源电压降到 80V\*……

在传送信息时也一样,例如,我们向远方的人传送“75”这个数(信息)时,可以如图 1.6(a)所示,传送“75次断续电流(脉冲)”,或者如图 1.6(b)所示,用“电压大小”来传送。像图 1.6(b)那样用电压大小来传送时,在接收端的电压下降情况下,到底“是 74, 75, 还是 76 呢?”判断将出现困难,而在图 1.6(a)中,即使由于距离远而引起电压下降,若电流的“有、无”可以判断的话,则信息就可以确切传送出去。

如图 1.6(a)所示,信号以断续电流(或者电压)的形式表现的为**数字信号**。如图 1.6(b)所示,信号以连续电流(或电压)的方式表现的为**模拟信号**。一般情况下,处理与数量有关的信息时,作为数字信号来处理,信号为“有、无”即“白、黑”可以明确分清,因而比较有利。

\* 日本民用电为 100V——译者注。

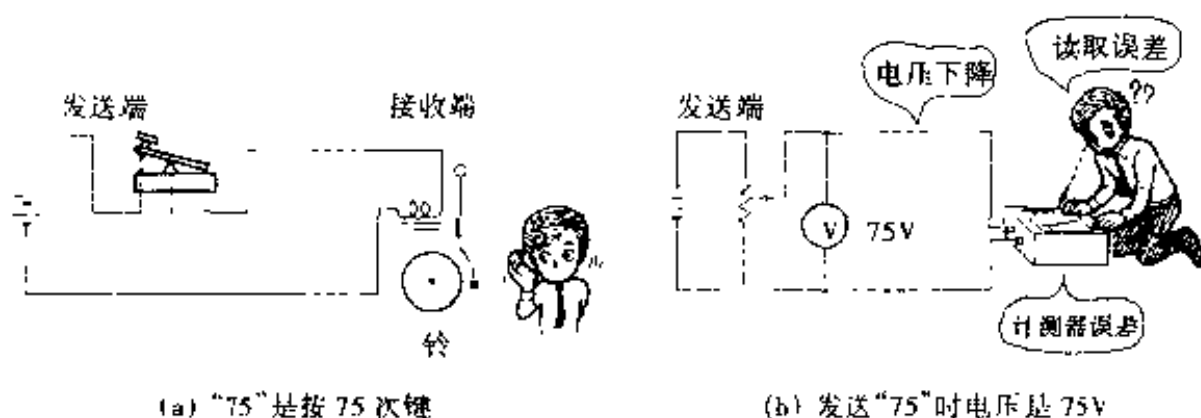


图 1.6 数字信号和模拟信号

处理数字信号的电子电路即**数字电路**，处理模拟信号（例如用音频放大器处理的的声音电流等）的电子电路即**线性电路**。

#### 1.1.4 脉冲与数字信号

医生将人的心脏跳动称为脉搏。在电子电路中，如脉搏那样断续的电流与电压称之为**脉冲**（图 1.7）。

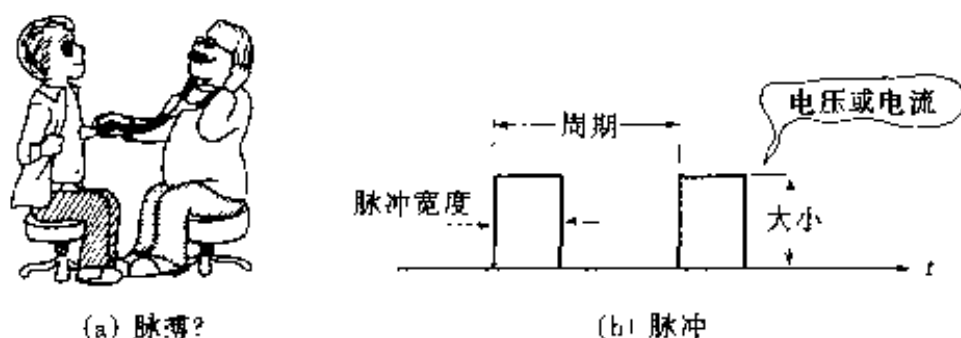


图 1.7 脉搏与脉冲

用一个脉冲，只能表现“白、黑”那样的单纯的信息。通过脉冲的组合，例如像图 1.6 那样，可以作为信号传送稍微多一些的信息。但是，用这个方法不可能传送“大的数”和“复杂内容的信息”。实际上，用图 1.8 中所说明的一些“规则”组合脉冲，即产生数字信号。

#### 1.1.5 产生数字信号的“规则”举例

通过脉冲组合，产生有效数字信号传送的方法，可用图 1.8 来说明。图 1.8 中用 5 条线路，传送 0~10 的数值。这里，在 A~

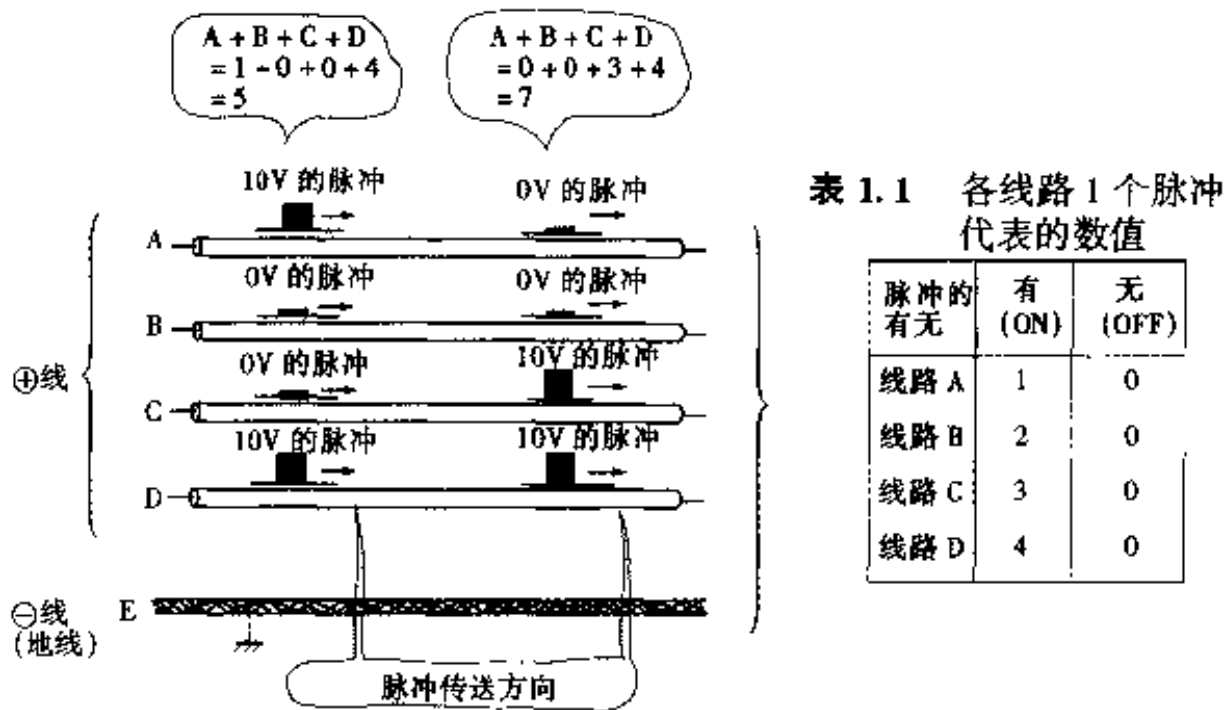


图 1.8 组合脉冲产生数字信号的例子

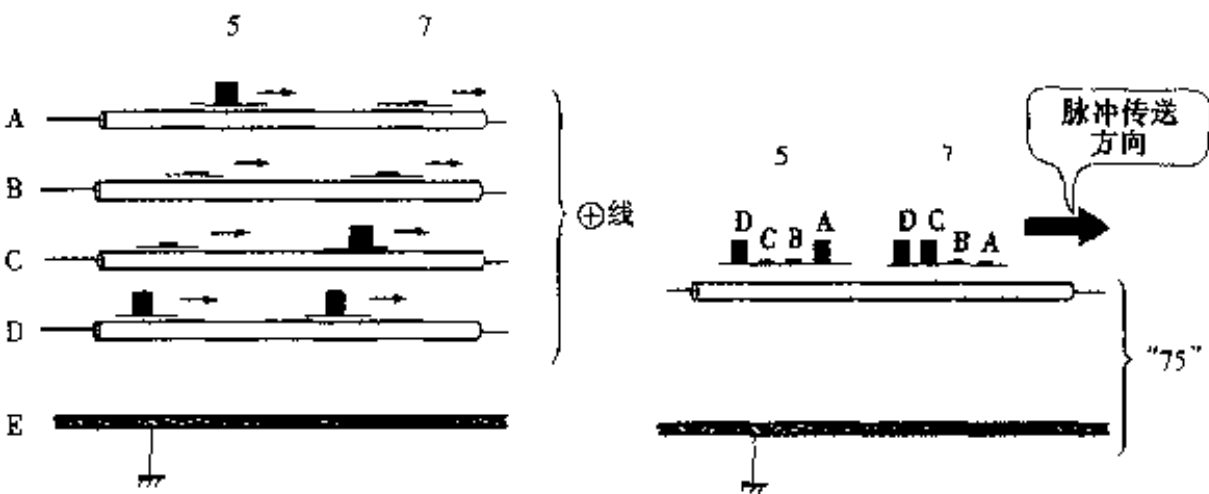


图 1.9 使各线路的脉冲形成时间差流入到同一线路中去

D 线路中所流动脉冲的大小均相同 (例如 10V), 当各线路本身服从表 1.1 所示的“规则”时, 图 1.8 的情况, 整个传送的信息为“75”。

[问] 在图 1.8 中, 希望传送“6”的数值时, 脉冲的组合应该如何呢?

[答] B 与 D: ON, 或 A, B, C: ON

将图 1.8 中的 A, B, C, D 各线路的脉冲传送时间以一定间隔错开, 如图 1.9 所表示的, 只用⊕与⊖一组线路, 利用其流动的电流, 也可以传送相同的数字信号。图 1.8 是将脉冲并联组合的方

法,图 1.9 是将脉冲串联组合产生数字信号的方法。无论哪种方法,将这与图 1.6 中电铃的方法相比较,可以知道有用“较少脉冲,传送较多的信息”的可能性。但是,在表 1.1 的规定中,在传送“3,4,5,6,7”的数时,各有两种方法。这是传送效率不够高的一个表现。因而,实际上,在 A, B, C, D 各线路中,用“2 进制”(参见 4.2.3 节)比较多。

### 1.1.6 微机的位数

图 1.8 是用 4 条⊕线路传送与处理数字信号的例子,一台 4 位的微机与此相当。因此,8 位的微机相当于有 8 条⊕线路。⊕线路多,可以传送与处理更复杂内容的信息。

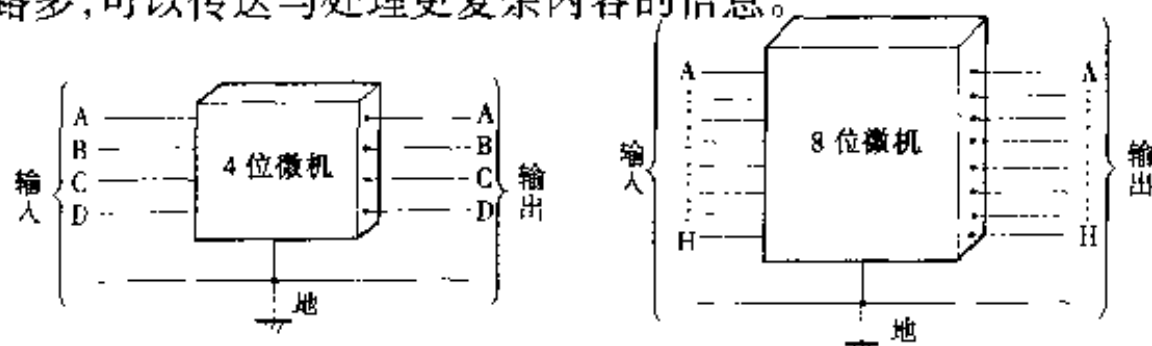


图 1.10 微机的位数

# 1.2 数字信号在“杂草丛中”不会埋没

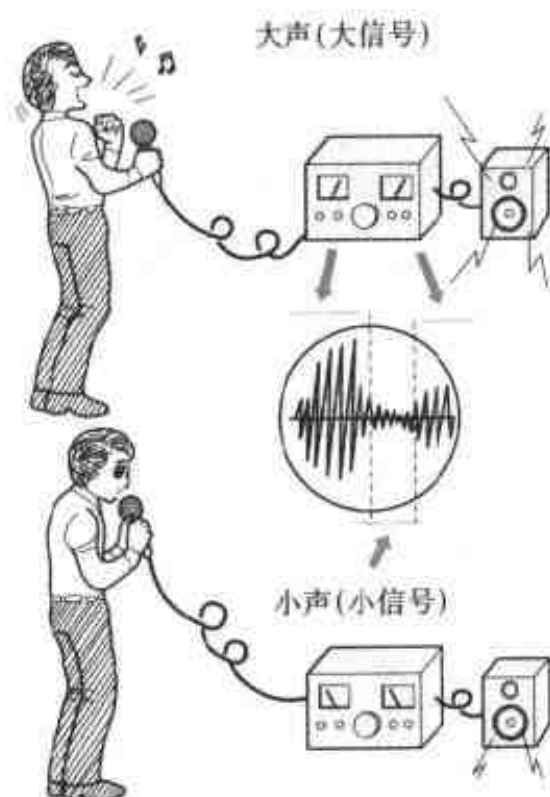


图 1.11 模拟信号的大小

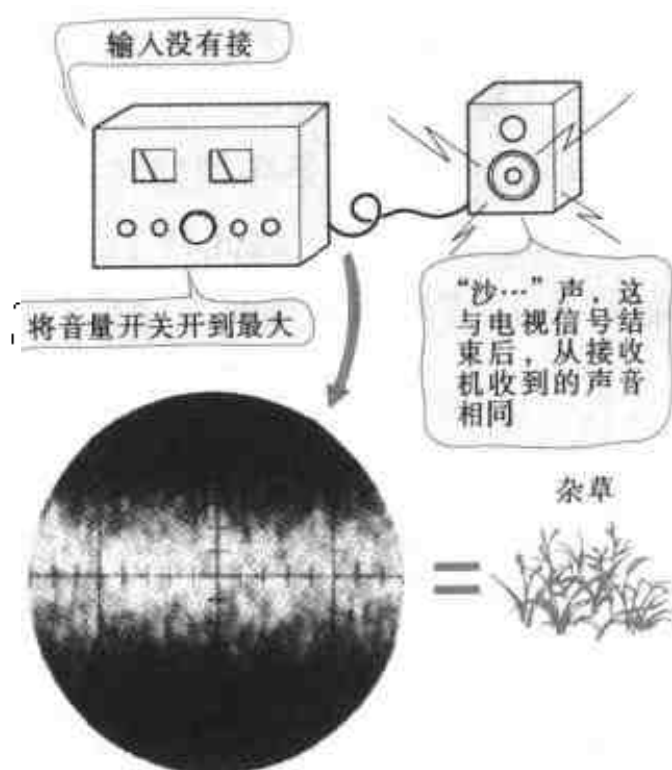


图 1.12 杂音(噪声)的产生



图 1.13 不产生噪声的方法?

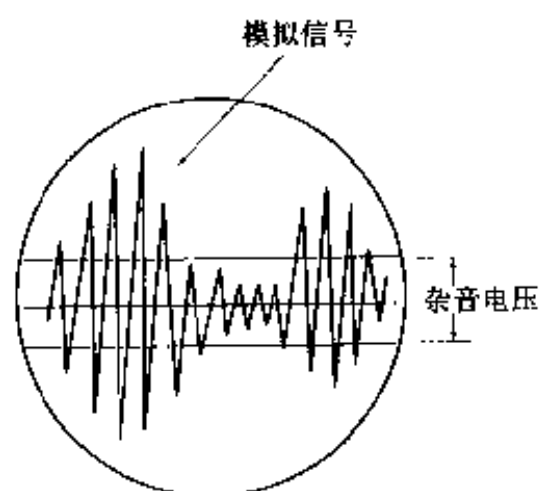


图 1.14 小信号被埋没在噪声中

### 1.2.1 噪声与杂草相同

典型的模拟信号是音频电压（或电流），图 1.11 示出其波形。声音大的部分其波形的振幅大，声音小的部分其波形的振幅小。

这里，将放大器前的话筒拿走，将音量旋钮（电位器）开到最大，再用高灵敏度的示波器观测其输出波形，则出现了如图 1.12 所示的波形。这个波形是在放大器没有输入情况下出现的，即是从放大器内部的电子电路产生的“噪声电压”。

这个噪声电压主要是由于在电子电路内的电阻中，电子的不规则热运动而产生的，称为“热噪声”。通过放大器进行放大，最终输出。这种噪声，只要不将放大器放到  $-273^{\circ}\text{C}$ （绝对零度）的条件下，一定会产生。而且，在宇宙空间中，也充满了天体等产生的噪声电波。

这种“噪声（noise：噪声电压或噪声电波）”即使不想要，它也自然而然地会产生出来，可以将信号和噪声的关系比喻为农作物和杂草的关系。

### 1.2.2 信号与噪声

将图 1.12 中出现的噪声电压变为声音来听时，与接收 FM（调频）广播没有选准电台时听到的“沙……”的声音是一样的，这是因为 FM 接收机接收到了噪声信号。而且，这样的噪声在磁带自身中也存在。在放唱片时，唱针与声道之间也产生噪声。因此，如

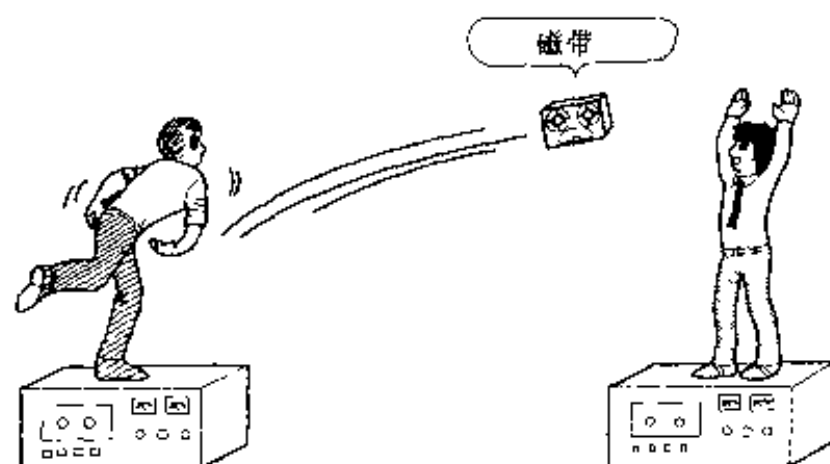


图 1.15 录音时产生杂音埋没信号



图 1.14 所示,模拟信号中的微弱信号容易淹没在“噪声”中。

为证明以上所说的情况,可以用图 1.15 所示的磁带复制的例子。磁带每复制一次,因为信号通过电子电路,噪声必然增加。如果将复制过 20~30 次的磁带与原音带比较,用耳朵来听,一定会对二种磁带的差别大吃一惊。

### 1.2.3 数字信号与噪声的消除

模拟信号的微弱部分容易受到噪声的影响,将噪声从信号中分离出来,完全剔除是不可能的。这与小花草与杂草生长在一起时,无法单单剔除杂草是一个道理。

然而,数字信号的脉冲大小是完全一样的(没有微弱部分),因此噪声即使混入,也可以将噪声与信号分离开来。这与苹果园中生有杂草相似,只剔除杂草的工作这时是简单易行的。

特别是在电子计算机的情况下,都是数字信号的复制(写入与读出)。每复制一次,即剔除出噪声,因此没有像模拟信号那样,出现噪声增大,淹没信号的情况。这是数字信号的一个突出优点。

### 1.2.4 数字音频

声音信号的录音,从发明到现在都是用相同的方法。如图

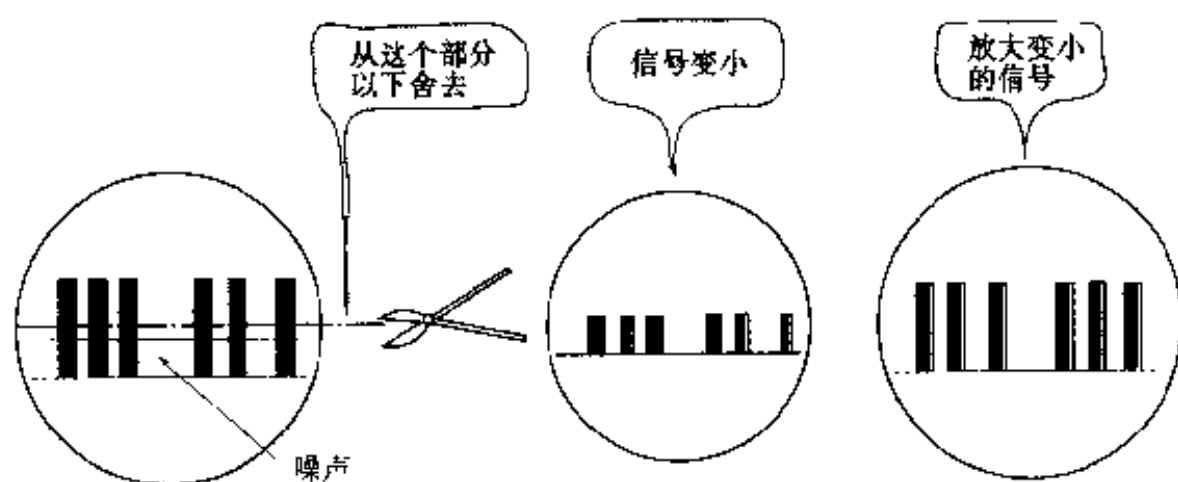


图 1.16 数字信号在噪声中不被淹没

1.17 所示,是将声音变化的波形,原封不动地在唱片上刻上槽沟。这样,当唱片上的槽沟有破损时即产生噪声。这种噪声即使再小,在电子电路中也是不可能剔除的。

数字音频又称为 **PCM**(Pulse Code Modulation),如图 1.17(c) 所示,是将声音信号(模拟)变换成数字信号(脉冲码)后再记录到磁盘上的方法。在磁盘上记录的信号,是如图 1.17(d)所示的莫尔斯符号的形式。这时,混入磁盘中的噪声信号,可以用前面所说的在电子电路中“削掉脉冲的脚”的方法除去。因此,PCM 录音噪声少,可以欣赏到美妙的音乐。

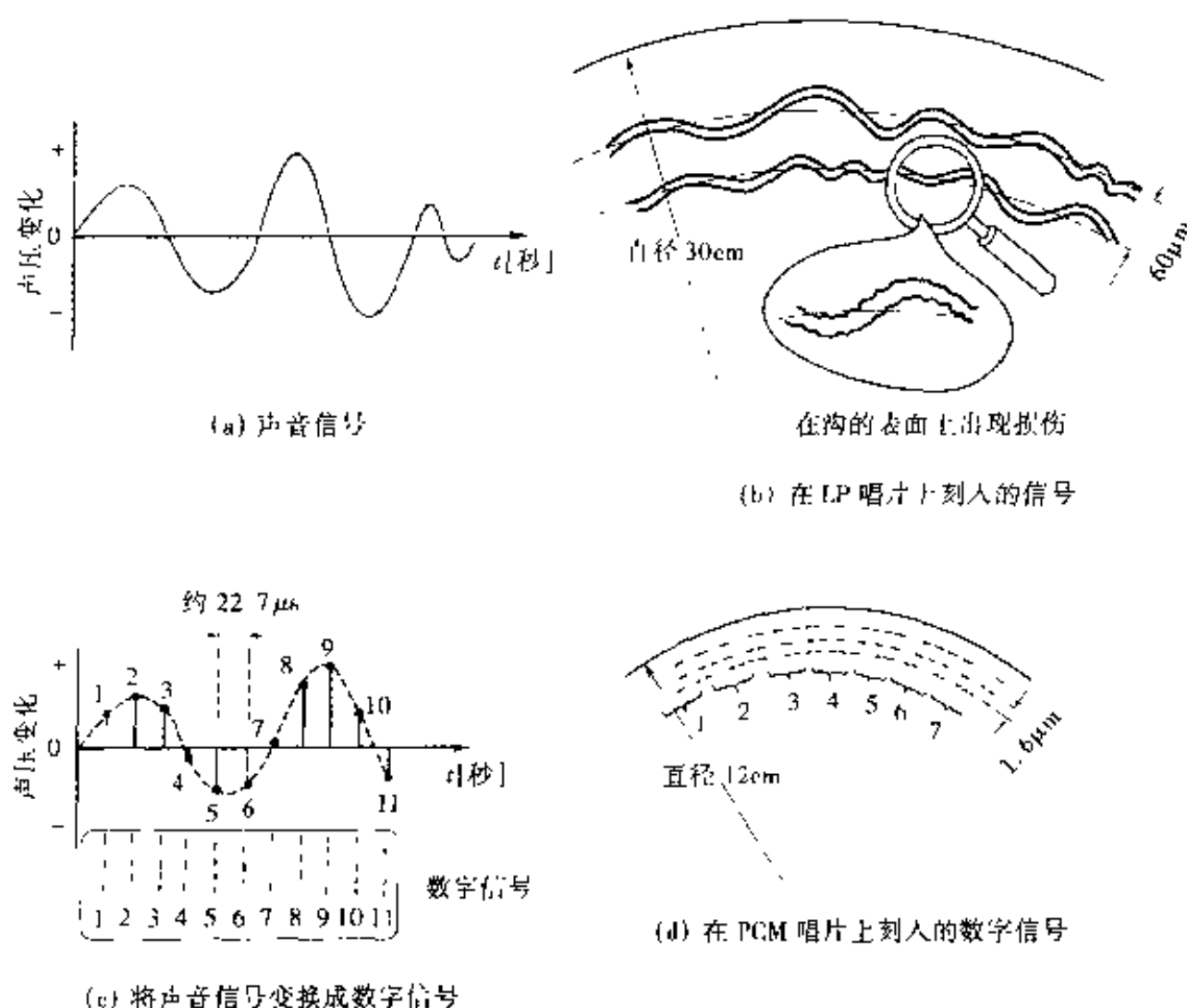


图 1.17 LP 唱片与 PCM 唱片

# 1.3 用开关产生数字信号

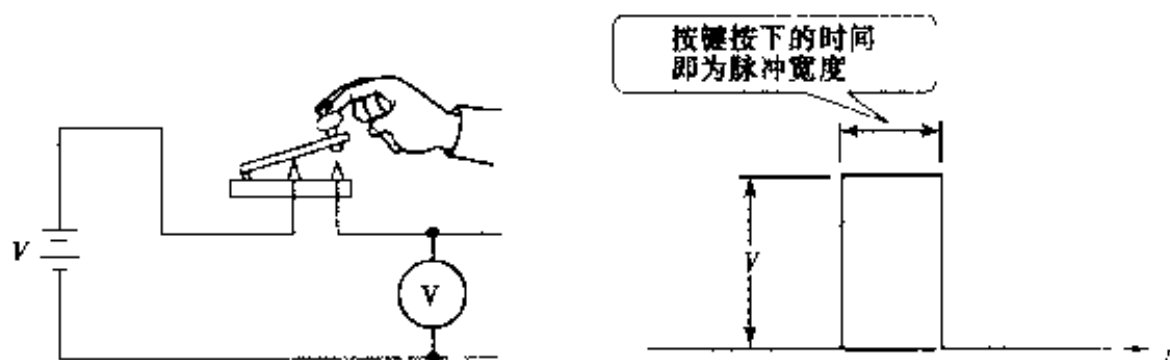


图 1.18 用开关产生脉冲与数字信号

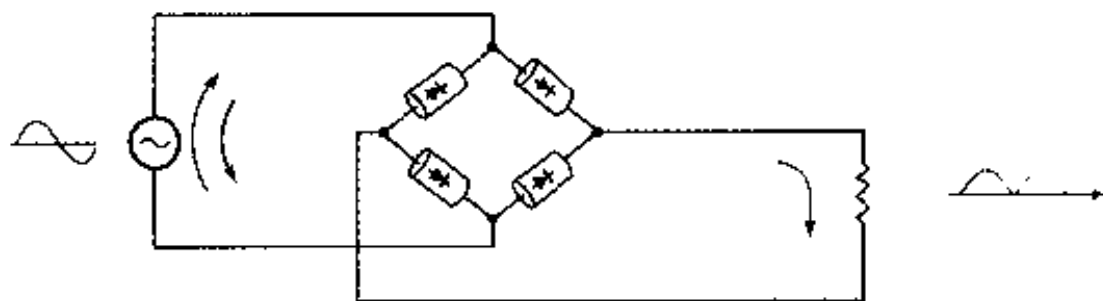


图 1.19 整流电路是一个二极管开关电路

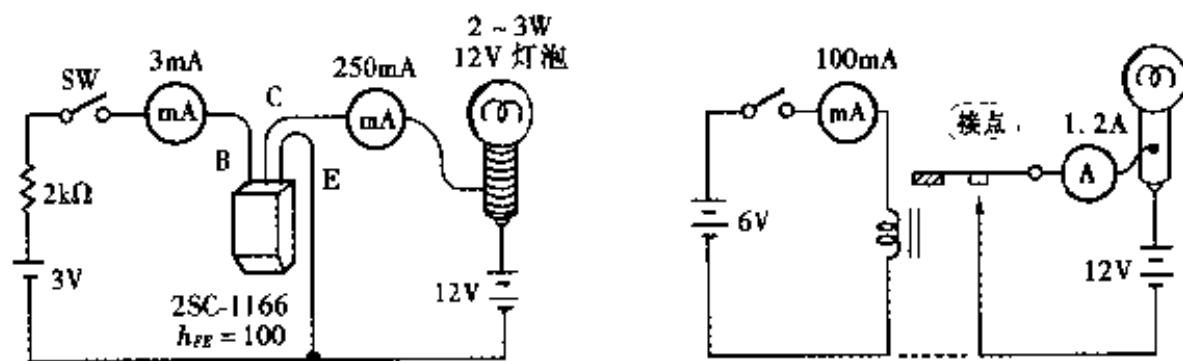


图 1.20 晶体管开关的动作

### 1.3.1 开关的动作与脉冲

通过开关的 ON、OFF 动作可以产生脉冲, 开关 ON 期间为脉冲宽度, 如图 1.18 所示, 将脉冲进行组合可以产生数字信号。因而在处理数字信号的电气电路中, 有必要用很多的开关。实际上, 过去也曾有过用非常多的电磁开关(继电器)制成**电气计算机**的时代。

现在, 在处理数字信号的数字电路中, 使用作为“**电子开关**”的半导体器件。这里对作为电子开关的代表性器件: 二极管、晶体管、FET(场效应晶体管)的开关动作进行说明。

#### 1.3.1.1 二极管的开关动作

二极管的构造如图 1.21(a) 所示, 即 P 型半导体与 N 型半导体的面接合。电气方面的性质如图 1.21(a) 中所示, 电流易于从电极 A 向 K 流动, 这个方向称**正方向**。相反的, 电流很难从 K 流向 A, 这个方向称为**反方向**。也即二极管可以比作为水流动时的阀门, 因此可以称为“**电流阀门**”。图 1.21(b) 所示为二极管的图示符号及电极名称。

另外, 图 1.19 是将二极管连接成桥式的全波整流电路, 其工作情况如图 1.22 所示。随着电源极性的变化, 通过其阀门的作用, 在加正向电压时二极管导通(ON), 加反向电压时二极管截止(OFF), 来实现**整流**。通过加到二极管上的电压极性的变化, 二极

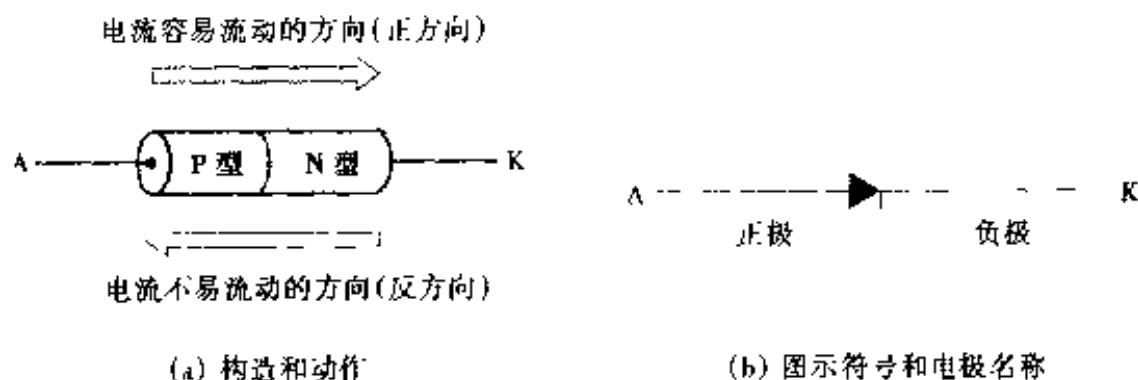


图 1.21 半导体二极管的构造原理和电极名称

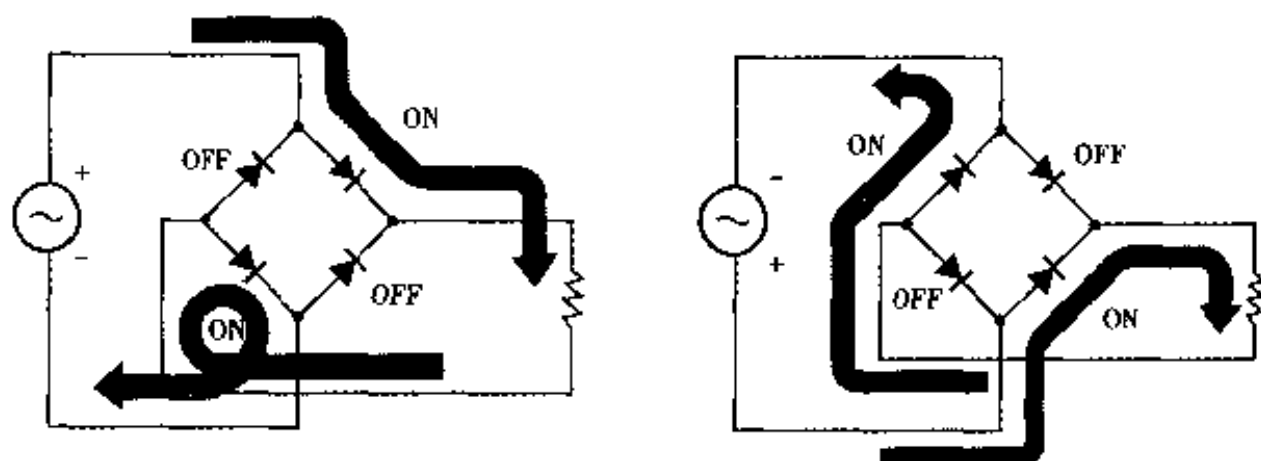


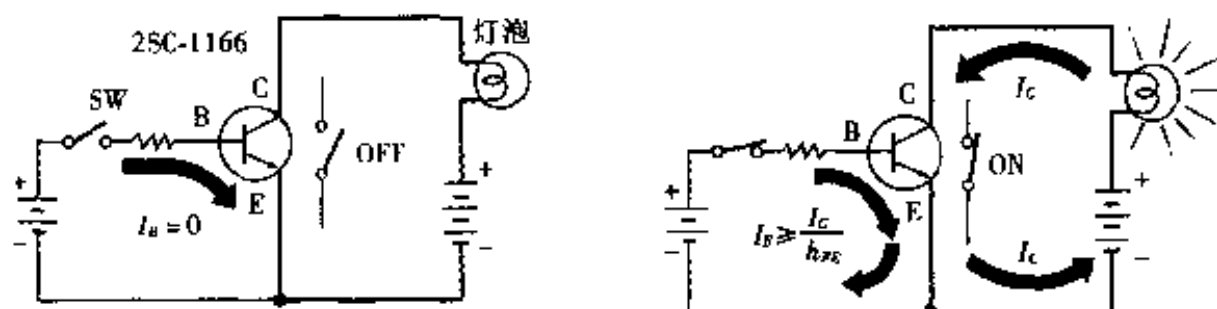
图 1.22 通过二极管的 ON、OFF 动作进行整流

管导通或截止,这就是所说的开关动作。

### 1.3.3 晶体管的开关动作

在图 1.20 左侧的电路中,当将手动开关 SW 处于 ON 时,晶体管的基极电流  $I_B$  流入,其结果为集电极电流流动,灯泡接通点亮。这是因为晶体管起了如图右侧的继电器的作用。

为了使晶体管的集电极与发射极之间如同继电器接点那样动作,必须使集电极电流达到饱和。这时,相当于继电器激励电流的是晶体管的基极电流  $I_B$ ,它必须大于集电极电流  $I_C$  的  $1/h_{FE}$  倍。例如在图 1.20 的左图和图 1.23 中,为使  $I_C$  有 0.2A 流动,  $I_B$  要大于(或等于)  $0.2/100$ ,即需要有 2mA 以上的基极电流。



电极名称 B:基极 C:集电极 E:发射极

$h_{FE}$ : 晶体管的电流放大率,一般为  $h_{FE} = 100 \sim 200$

(a) 晶体管处于 OFF 状态

(b) 晶体管处于 ON 状态

图 1.23 晶体管开关电路

## 1.3.4 FET 的开关动作

在图 1.24 中,使用 FET 时,它的电极 D-S(漏极与源极)间起开关接点的作用,而 G-S(栅极与源极)间起相当于继电器激励线圈的作用。这里相当于继电器的激励作用的,在晶体管时是基极电流,而对于 FET,却是栅极电压,这是其不同点。

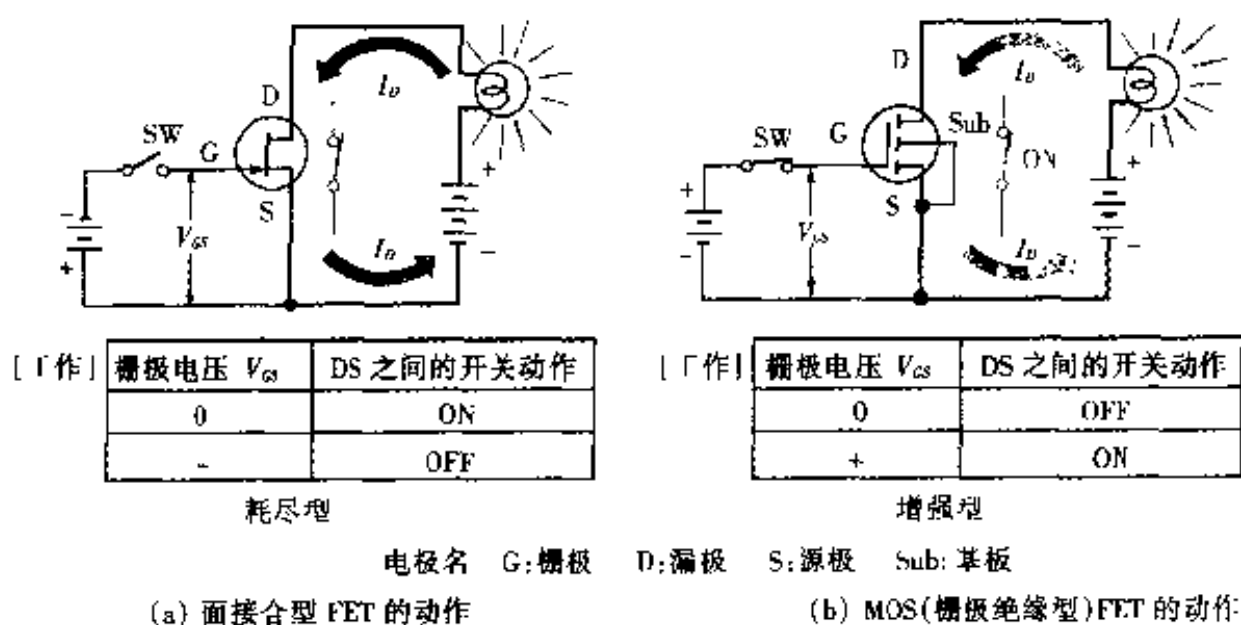


图 1.24 FET(场效应晶体管)开关电路与动作

# 1.4 开关的条件与动作

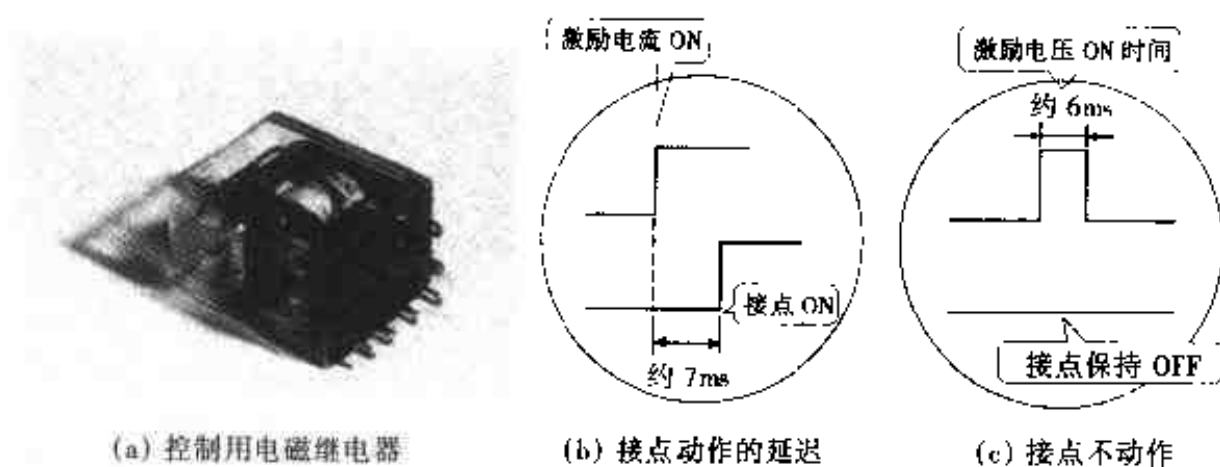


图 1.25 电磁继电器的 ON/OFF 动作的延迟

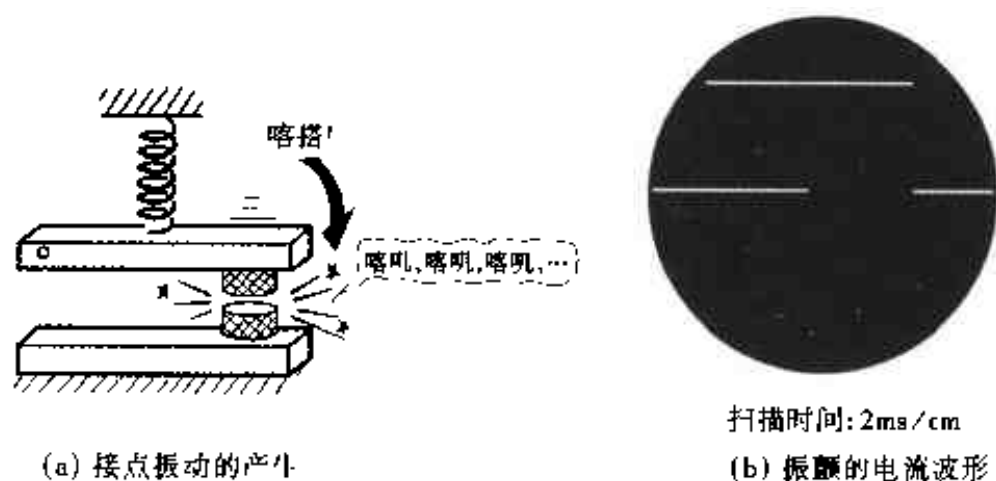


图 1.26 接点振动“颤动”及其电流波形

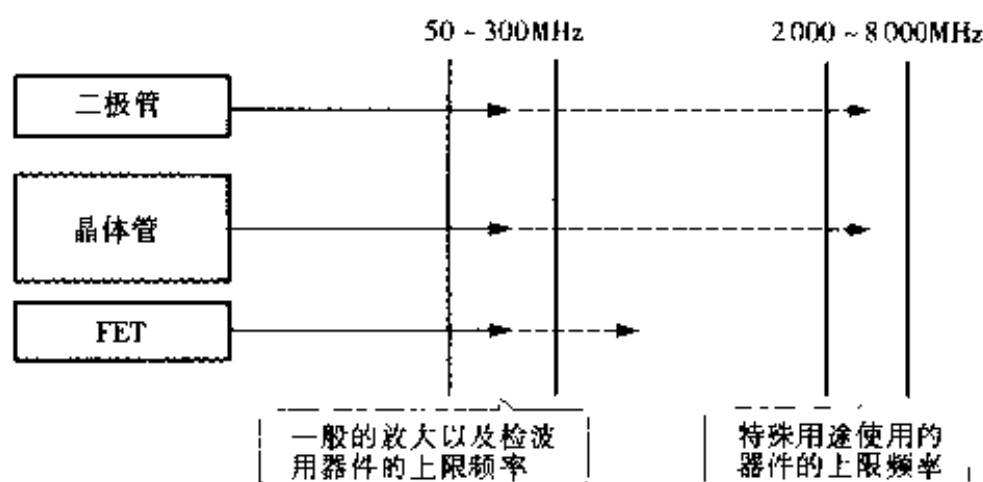


图 1.27 半导体器件的高频特性区域

### 1.4.1 接点的振动和 ON、OFF 的动作时间

一般,有接点的机械开关,在 ON, OFF 动作时,要有一个“较长的时间”。

例如,图 1.25(b)是控制用继电器的实测值。表示了激励电压的 ON、OFF 和接点的 ON、OFF 的时间差。另外,图 1.25(c)中,当激励电压的脉冲宽度过窄时(ON 时间短)则接点不动作。这样,当然不可能制造出高速的机器。

而且,在机械开关的接点处,ON 动作的一瞬间,由于接点与接点间的反作用力,引起振动,其结果是接点中流动的电流也振动起来(如图 1.26 所示)。这个现象称为振颤。在数字电路中,振颤引起的振动为有害的脉冲,成为电路误动作的原因。

### 1.4.2 电子开关的动作时间和特性

二极管、晶体管、FET 等半导体器件,现在市场上可买到的高频器件,一般可用于 100MHz 的高频信号的检波或放大(如图 1.27)。

这些器件作为电子开关使用时,可以认为其动作时间大约在  $0.01\mu\text{s}$  ( $\approx 1/100\text{MHz}$ )。而且,半导体电子开关,由于没有可动部分和接点,不产生振颤现象和接点污染而引起的劣化。但是,如图 1.28 所示,电子开关动作时,这些元件上有  $0.3 \sim 0.5\text{V}$  的电压降。

由上述内容可知,使用电子开关,就可以制造高速的数字电路了。

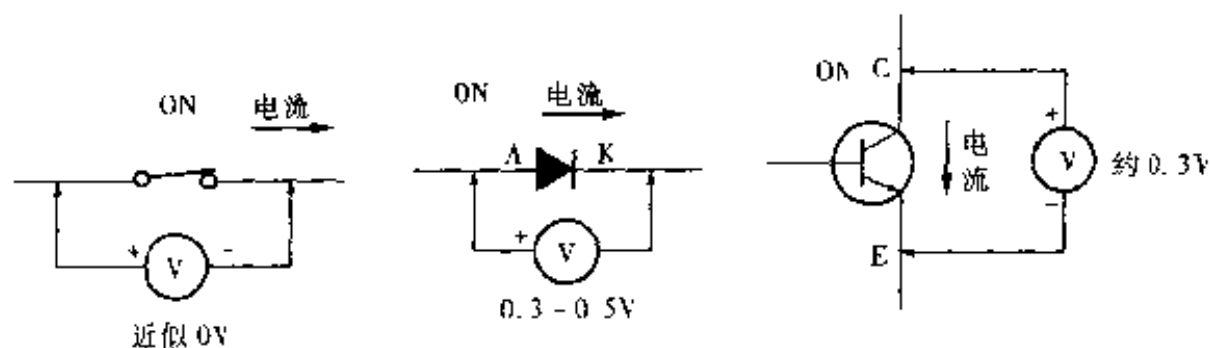


图 1.28 机械开关和电子开关的电压降



# 1.5 电子开关的动作与载流子

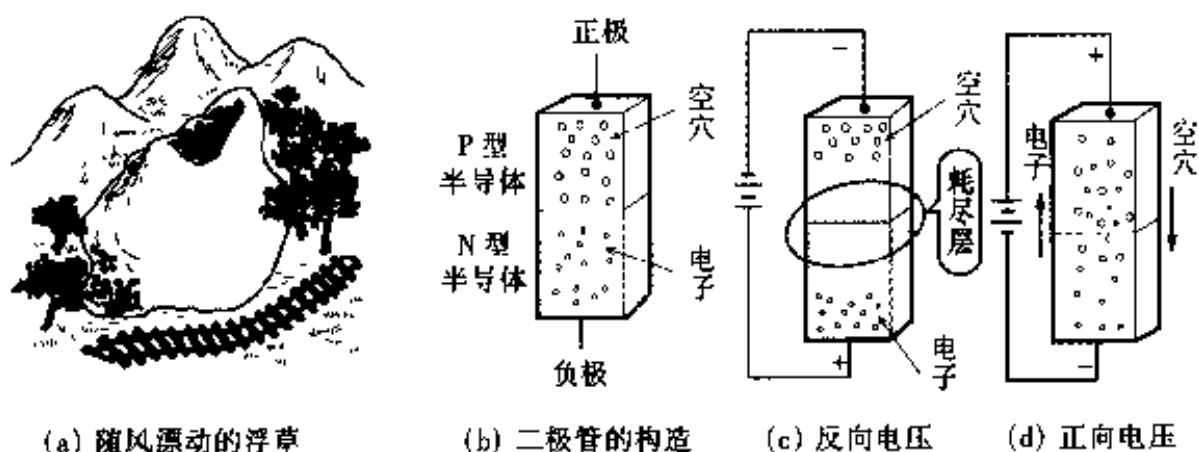


图 1.29 二极管的开关原理

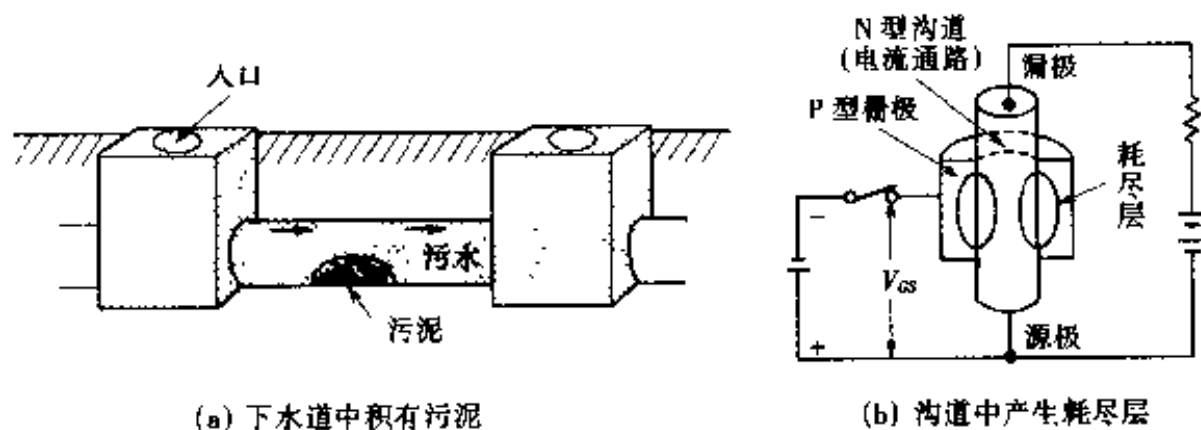


图 1.30 面接合型 FET 的开关原理

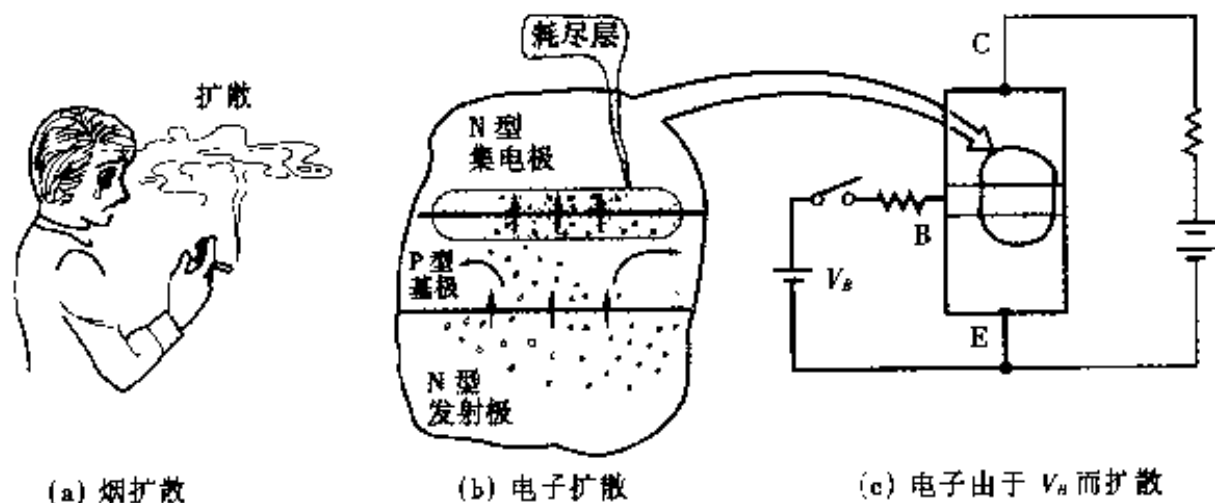


图 1.31 晶体管的开关原理

### 1.5.1 水面上漂浮的草

半导体二极管的结构如图 1.29(b) 所示,是以 **N 型半导体**与 **P 型半导体**接合而构成的。N 型半导体内有携带负电荷的**自由电子**,P 型半导体中有携带有正电荷的**空穴**。

在这种二极管上,施加如图 1.29(c)所示的反向电压后,自由电子与空穴由于静电力,吸引到电极处。正如水面上漂动的浮草被风吹动聚集在岸边一样。其结果,在 P 型与 N 型的接合面附近没有自由电子也没有空穴,形成了电流不流动的部分,称之为**耗尽层**。有了这个耗尽层,在图 1.29(c)的情况下,二极管处于 **OFF 状态**。

如果如图 1.29(d)所示,加上正向电压时,自由电子及空穴均通过接合面而移动。其结果,不足的电子与空穴由电池供给,这样,电流就流动了。因此,二极管处于 **ON 状态**。从自由电子与空穴能“运载”电流这个意义上,即称之为**载流子**。

另外,如图 1.30 中所示,在 FET 情况下, $V_{GS}$  是零时,沟道内电子可以自由通过,所以 FET 为 ON。但是在源极与栅极间加上反向电压时,沟道内产生了耗尽层,电子不能通过,FET 为 OFF。这个过渡层相当于下水道中被污泥堵塞的情况。

### 1.5.2 烟熏眼睛

已经在图 1.23 中说明过,晶体管基极电流  $I_B$  的流动,造成集电极与发射极间有电流  $I_C$  流动。 $I_B$  为零时,集电极与基极的接合面形成耗尽层不让  $I_C$  通过。这即是 OFF 状态。

但是,基极与发射极间加上正向电压后,自由电子在发射极与基极的接合面,越过边界向基极开始流动。越过边界的电子,因为有**扩散现象**而扩大,电子的一部分从基极流出,成为  $I_B$ 。但是,晶体管的基极非常薄,因此,大多数的电子,直接到达基极与集电极的接合面,越过过渡层进入了集电极,进入集电极的电子流即为  $I_C$ ,晶体管为 ON 状态。这里扩散所具有的意义如同烟雾在空间扩散一样。

# 1.6 数字信号与 RC 电路

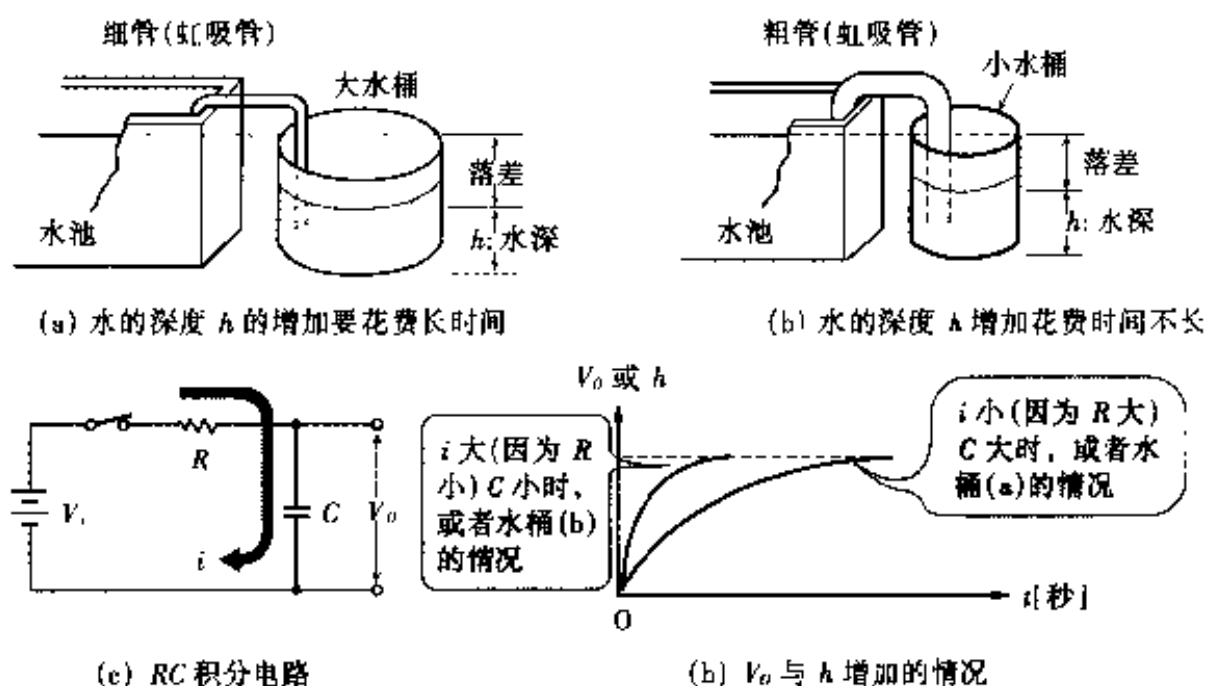


图 1.32 水桶的水深增加和积分电路

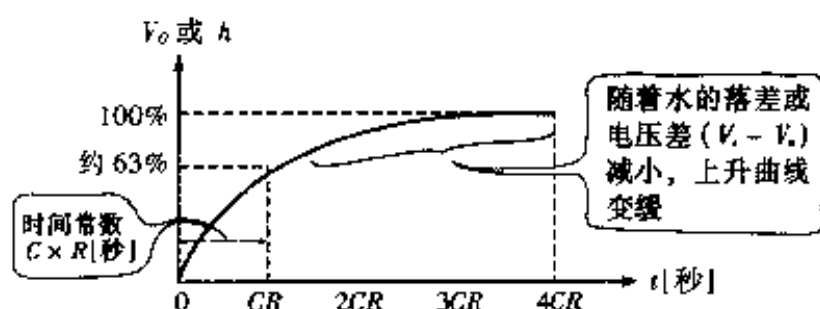


图 1.33 充电电压  $V_o$  和水深  $h$  的增加比例与时间常数

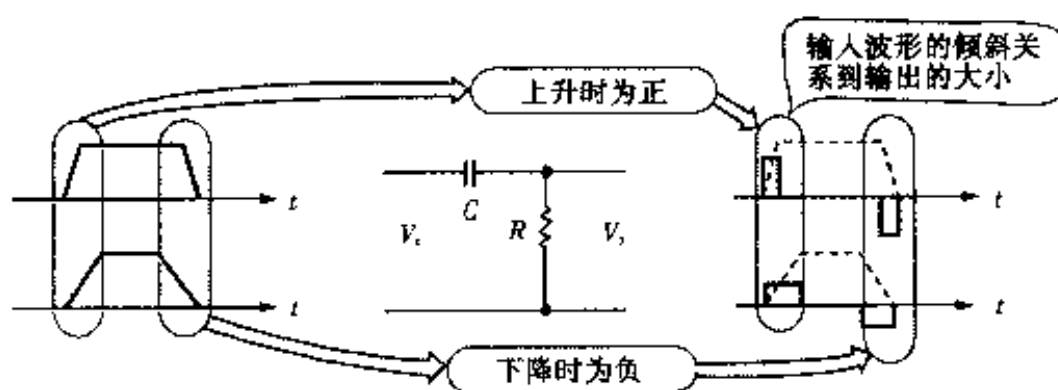


图 1.34 RC 微分电路和其输入、输出波形

### 1.6.1 耐久力有多少(积分电路)

数字信号是脉冲序列, 因此讨论一下脉冲与 RC 电路的关系。

图 1.32 所示的 RC 电路与用虹吸管使水流动相似, 通过  $R$  和  $C$  大小的不同, 电容上的电压上升所需的时间发生变化。电路中  $R \times C$  称为时间常数。经过  $R \times C$  [秒] 后,  $V_o$  变为约是  $V_i$  的 63%。而经过  $4RC$  [秒] 后,  $V_o$  接近  $V_i$  (如图 1.33)。如图 1.35(a) 所示, 用开关产生脉冲, 观察 RC 电路的输出电压  $V_o$ , 可看到如图 1.35(b) 那样变化。SW 处于 A 处时, 由于充电  $V_o$  上升, 在 B 处时, 由于放电  $V_o$  下降, 这两种情况下, 都是经过  $RC$  [秒] 后, 有 63% 的变化。

电路中均提到了  $V_o$  变化到结束时的时间长短这个问题。这相当于体育运动中的耐久力的测定一样, 电压  $V_o$  表示电荷积蓄的数量, 所以称这个电路为积分电路。

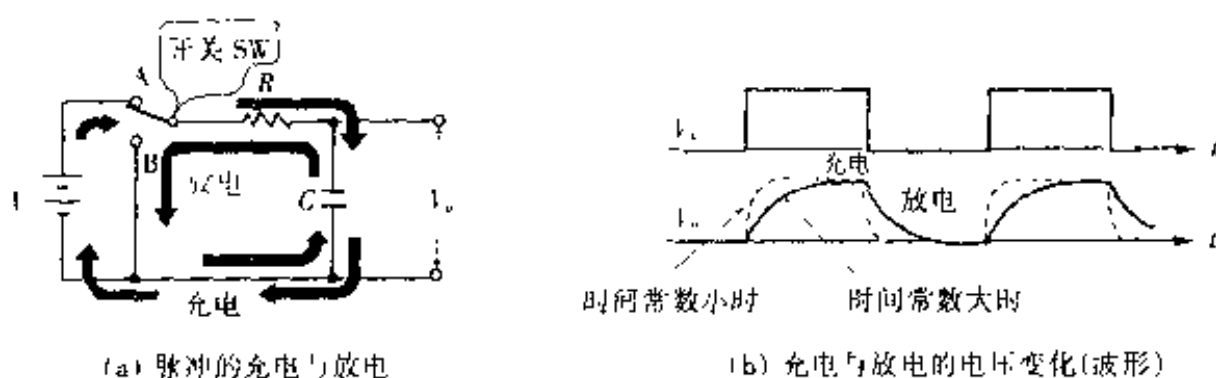


图 1.35 积分电路与方波的积分波形(充放电波形)

### 1.6.2 有否爆发力(微分电路)

将积分电路中  $R$  与  $C$  的位置对换, 外加如图 1.34 所示的台形脉冲时, 输出电压  $V_o$  正比于脉冲的上升沿和下降沿的斜率。这样,  $V_o$  显示了输入波形微细部分的变化, 所以称这个电路为微分电路。台形脉冲的斜率相当于短距离跑垒员突然起动飞奔时的快速性, 或者车子发动时的加速度, 也相当于体育选手的爆发力。

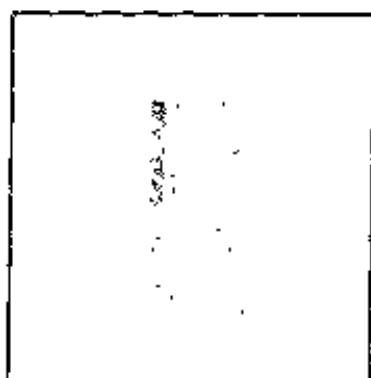
微分电路是用于从宽幅的脉冲产生狭幅的“尖形脉冲”, 其原理与用途在 2.2.6 节中说明。

## 本章小结

为什么要选择数字方法。

- “digital”一词源于“扳手指计数……”、“计数形的……”的意义。
- 信号是将信息变为状态,例如,语言这一个信息,通过麦克风变化为声音电压或电流再输出,此为信号。
- 数字信号为“白与黑”、“高与低”或者“1 与 0”,易于判别。
- 数字信号易于放大与剔除传送过程中混入的噪声。
- 数字信号是脉冲序列,脉冲通过开关产生。
- 产生脉冲的开关,较多使用半导体等的电子开关。
- 二极管加正向电压,开关 ON,加反向电压,开关 OFF。
- 晶体管通过  $I_b$  操作,C-E 间有开关动作。
- 场效应管通过栅极电压使 D-S 间有开关动作。
- 机械开关其动作迟钝,发生称为振颤的接点振动。
- 晶体管与二极管等的电子开关,其速度快,不发生振颤之类的有害振动。
- 半导体电子开关,通过载流子移动实现 ON、OFF 动作。
- 积分电路充电完成时间与电路时间常数( $R \times C$ )有关。
- 微分电路,是将输入波形的缓急变化作为输出,输入上升时输出为正,输入下降时输出为负。

由于上述的理由,由数字信号进行信息处理与传送、存储,其信息的再现性能非常高,所以推进了数字化的发展。



# 数字信号的产生

扳着手指计数的 digital 计数思路与方法，是信息处理的主流。

数字电子机器在电子工程中占有很重要的位置，这些机器以其工作电路来分，大致有以下几种。

- ① 产生数字信号的电路
- ② 存储数字信号的电路
- ③ 处理数字信号的电路
- ④ 显示数字信号的电路
- ⑤ 数字 - 模拟变换电路

本章中学习有关产生数字信号的方法及其电路，以及计算存储数字信号（脉冲数）的基本触发器电路(Flip Flop)。

## 2.1 振 子

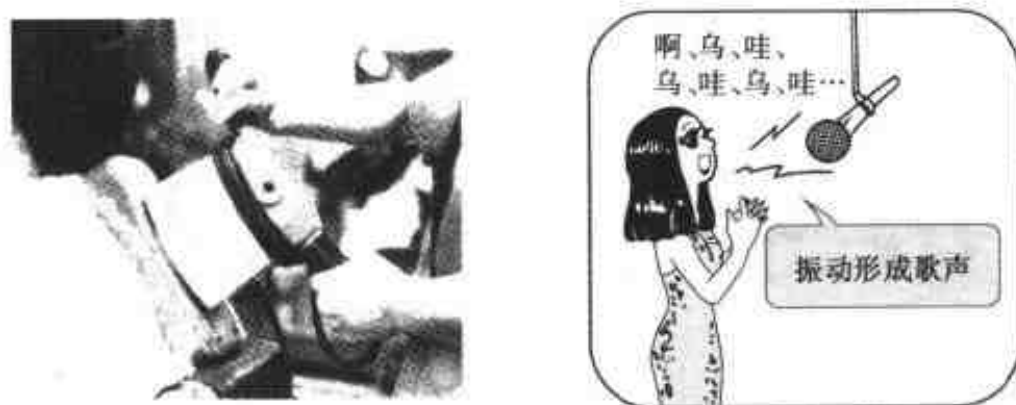


图 2.1 振子与振动

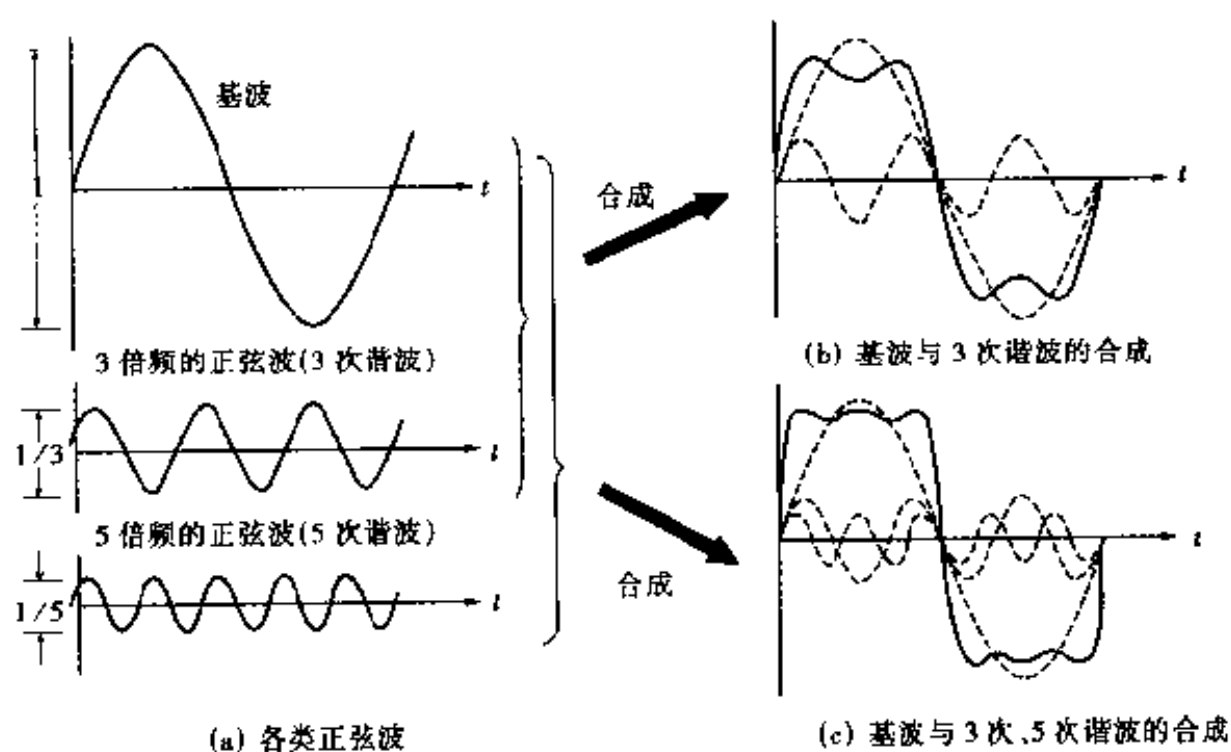


图 2.2 方波是正弦波的合成

# II

## 数字信号的产生

---

扳着手指计数的 digital 计数思路与方法，是信息处理的主流。

数字电子机器在电子工程中占有很重要的位置，这些机器以其工作电路来分，大致有以下几种。

- ① 产生数字信号的电路
- ② 存储数字信号的电路
- ③ 处理数字信号的电路
- ④ 显示数字信号的电路
- ⑤ 数字 - 模拟变换电路

本章中学习有关产生数字信号的方法及其电路，以及计算存储数字信号（脉冲数）的基本触发器电路（Flip Flop）。



## 2.2

## 自激多谐振荡器

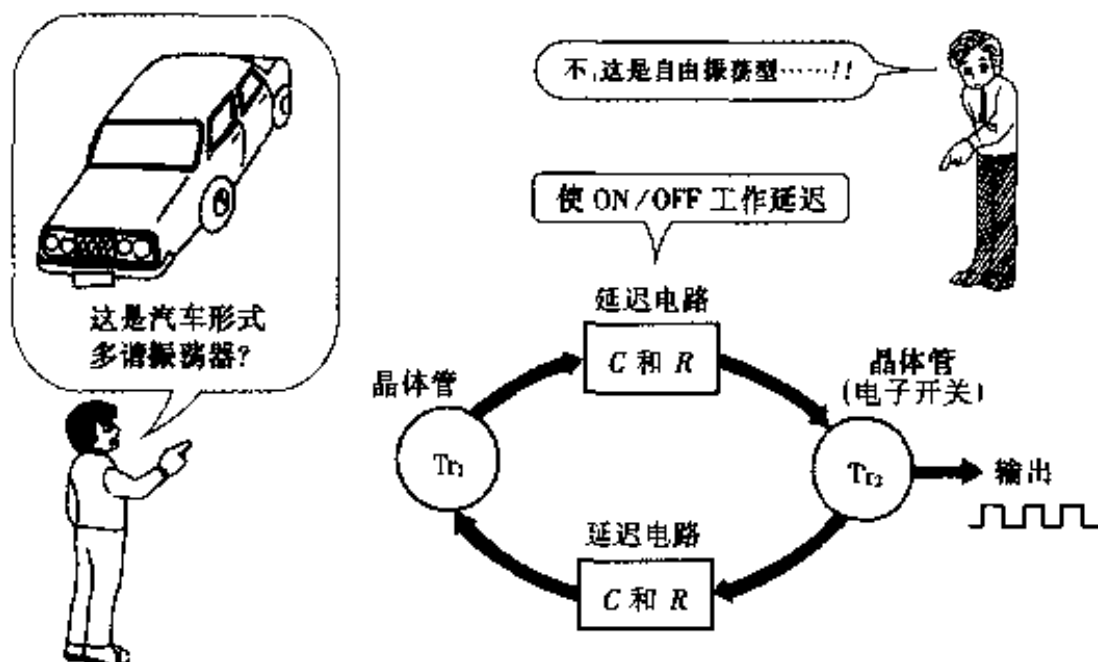
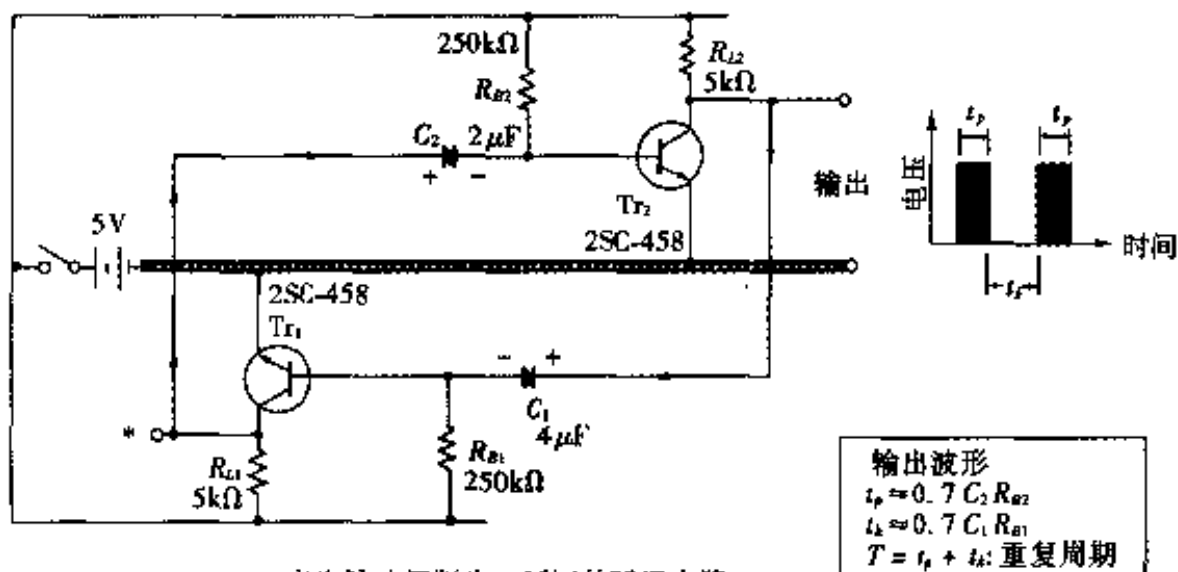


图 2.4 自激(自由振荡型)多谐振荡器的工作原理

产生脉冲宽度为  $t_p$  [秒] 的延迟电路产生脉冲间隔为  $t_k$  [秒] 的延迟电路

在 \* 处得到输出也一样。这里, 其波形与图示正好相反

图 2.5 自激多谐振荡器的电路及输出的电压波形(与图 2.10 相同)

### 2.2.1 不会停止的多谐振荡器

**自激多谐振荡器** (astable multivibrator) 又称自由型或不稳定多谐振荡器, 是不间断产生方波脉冲的振荡器。

电路的工作原理如图 2.4 所示, 2 个晶体管都作为控制对方的开关而工作。其结果  $Tr_1$  和  $Tr_2$  交叉重复 ON、OFF, 产生、送出持续的方波脉冲。这个工作原理与汽车的发动机不断重复 4 个冲程, 不断旋转相似, 所以又称为自由型多谐振荡器。

现在电子机器在实际应用时, 大多是用 IC (集成电路) 组成的多谐振荡器。当然 IC 的内部, 与以上所说的晶体管电路的工作原理相同。

### 2.2.2 放大电路与开关电路工作点的区别

图 2.6(a) 中所示的放大电路与图 2.6(b) 所示的开关电路在表面上看是相同的, 不同点是其工作点的设定。即图 2.6(c) 所示的开关 ON 时, 要使  $I_c$  达到饱和, 必须设定很大  $I_b$ 。

也即, 晶体管的工作点如图 2.6(c) 所示, 要达到 ON、OFF 时的负载线的两极端, 必须设定基极电流  $I_b$ 。这样, 可使图 2.7(a) 所示的晶体管的 C-E 间工作, 如图 2.6(b) 所示的开关一样动作, 可

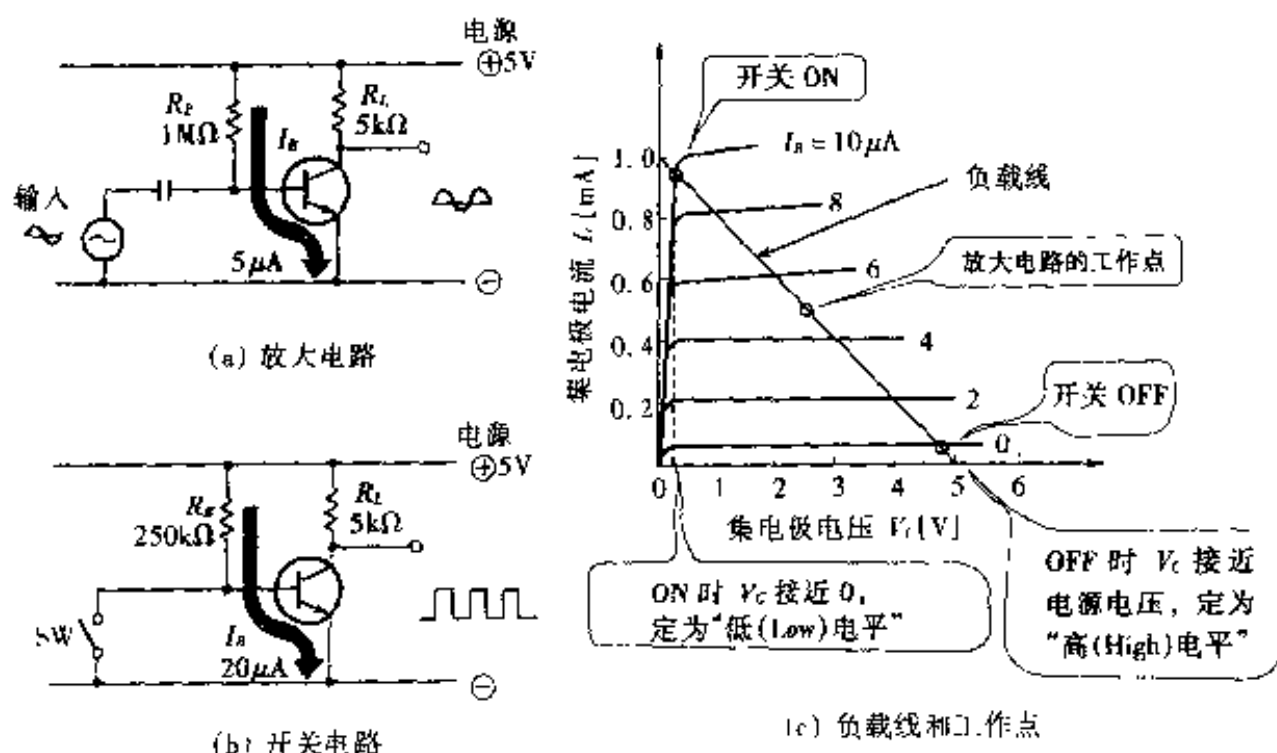


图 2.6 放大电路和开关电路

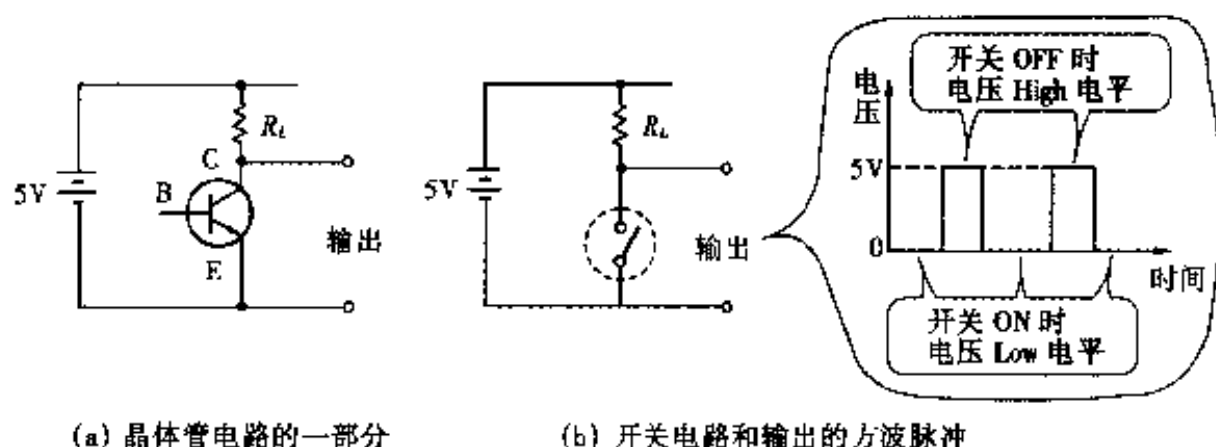


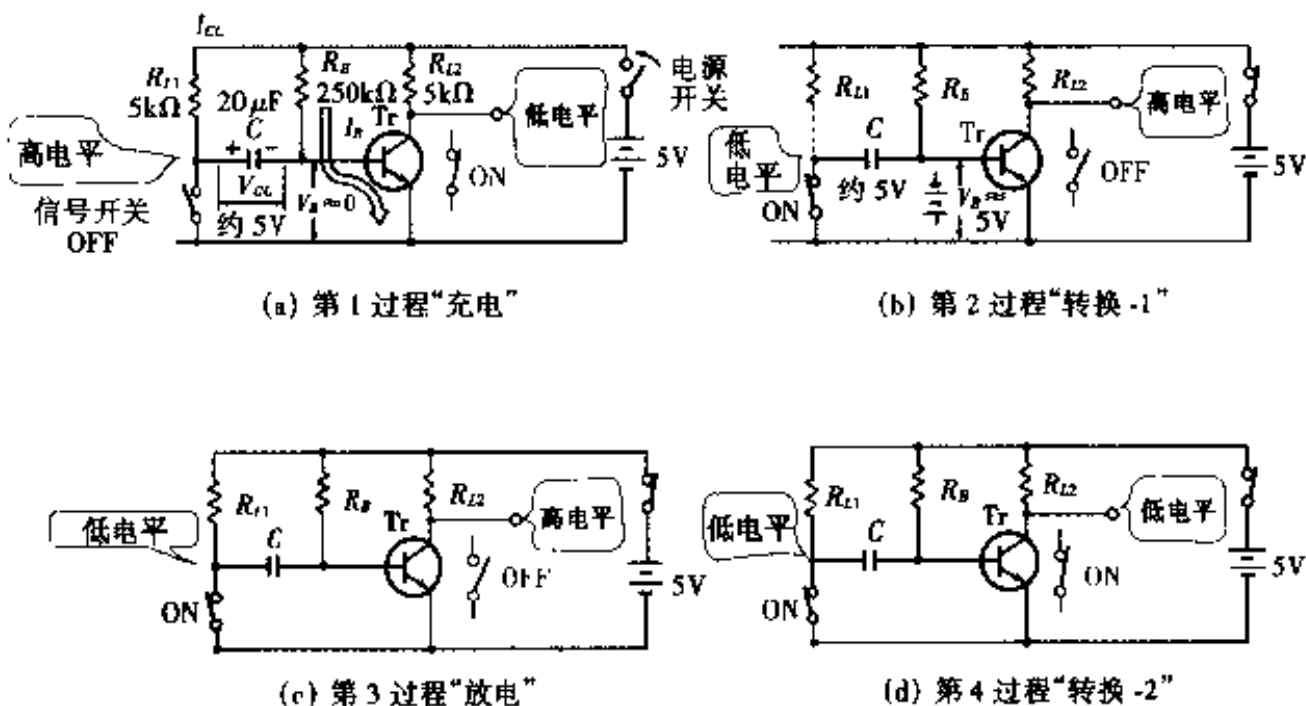
图 2.7 晶体管的开关动作和输出的方波脉冲

以产生方波脉冲。

### 2.2.3 通过 CR 产生延迟的开关电路

为了理解自激多谐振荡器的振荡原理, 首先, 分别研究每一个动作过程, 探讨延迟(动作延迟)的原因。

(a) 第 1 过程: 充电 电源开关一旦 ON, 则如图 2.8(a) 所示, 在晶体管的基极, 有对电容充电的电流  $I_{CC}$  与通过基极电阻  $R_B$  的  $I_B$  流通, 晶体管处于 ON 状态。因此集电极电压接近于零。即为低电平电压。电容充电需要时间约  $4CR_{L1}$ , 在图 2.8(a) 情况



(这个电路例子的晶体管 Tr 是 2SC-458、2SC-733 等)

图 2.8 具有延迟的开关电路的动作

时约 0.4 秒充电完成。

(b) 第 2 过程: 转换 -1 信号开关 ON 时, 如图 2.8(b) 所示, 电容  $C$  的电压相当于在晶体管的 B-E 间加上一个反向偏置, 因此, 晶体管在“一瞬间变为 OFF”。集电极电压成为高电平。

(c) 第 3 过程: 放电 电容  $C$  的电荷, 通过图 2.8(c) 所示的电路放电。这个期间, 有反向偏置, 所以基极电流  $I_B$  不流通, 晶体管维持于 OFF 状态。经过约  $0.7CR_B$  [秒] 后, 放电结束。在图 2.8(c) 的情况下, 放电的完成时间为  $0.7 \times 20 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^3$ , 约 3.5 秒。

(d) 第 4 过程: 转换 -2  $C$  放电一结束, 加在晶体管基极上的反向偏置电压消失, 因而如图 2.8(d) 所示,  $I_B$  流通, 晶体管变成 ON, 这样集电极电压再次回到低电平。

(e) 时间流程图 随着时间的变化, 有 2 个以上的现象, 其保持某种关系随时间变化而变化, 表示这种变化关系的称为时间流程图。

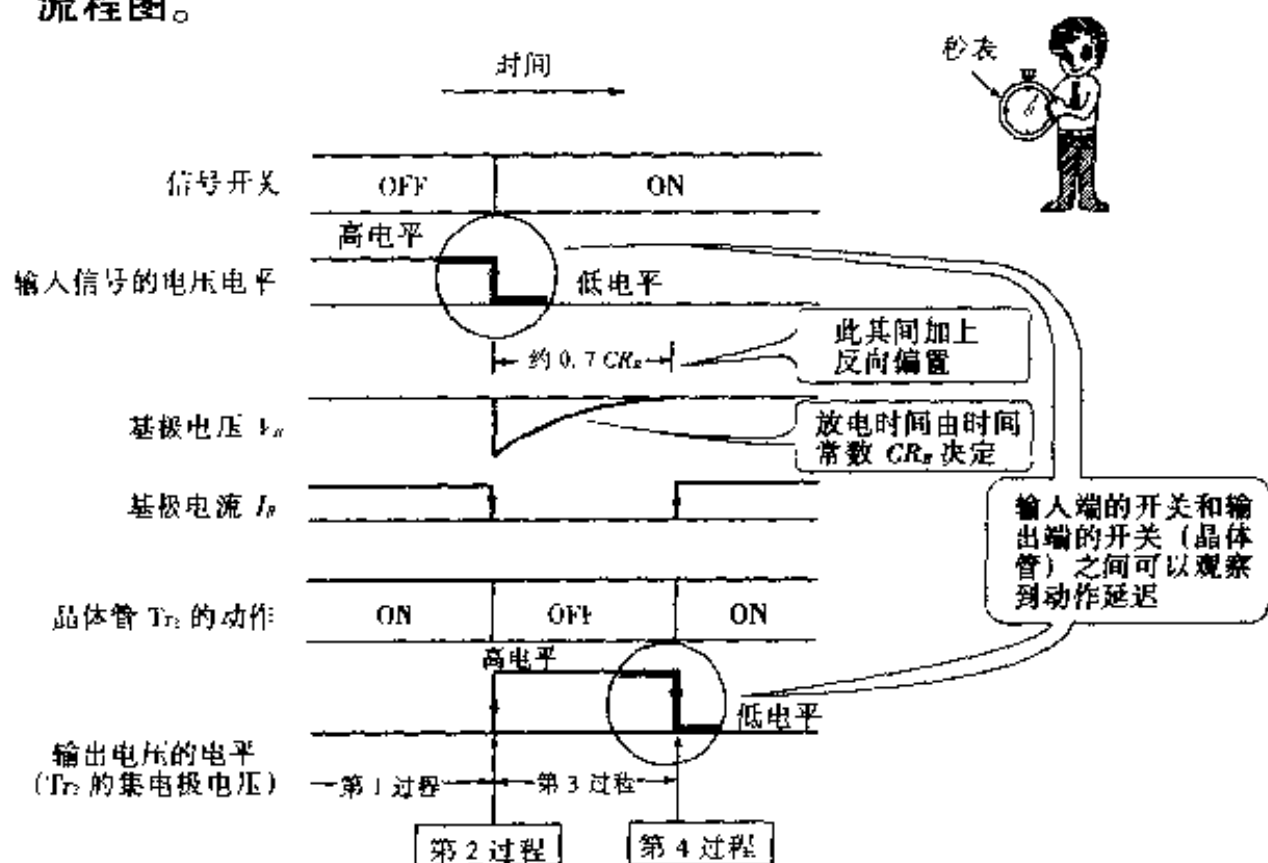
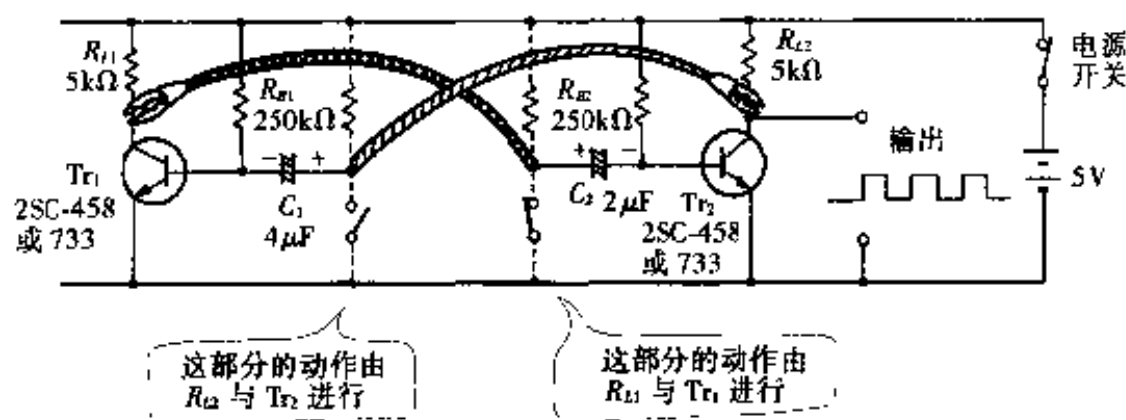


图 2.9 表示开关工作情况的时间流程图

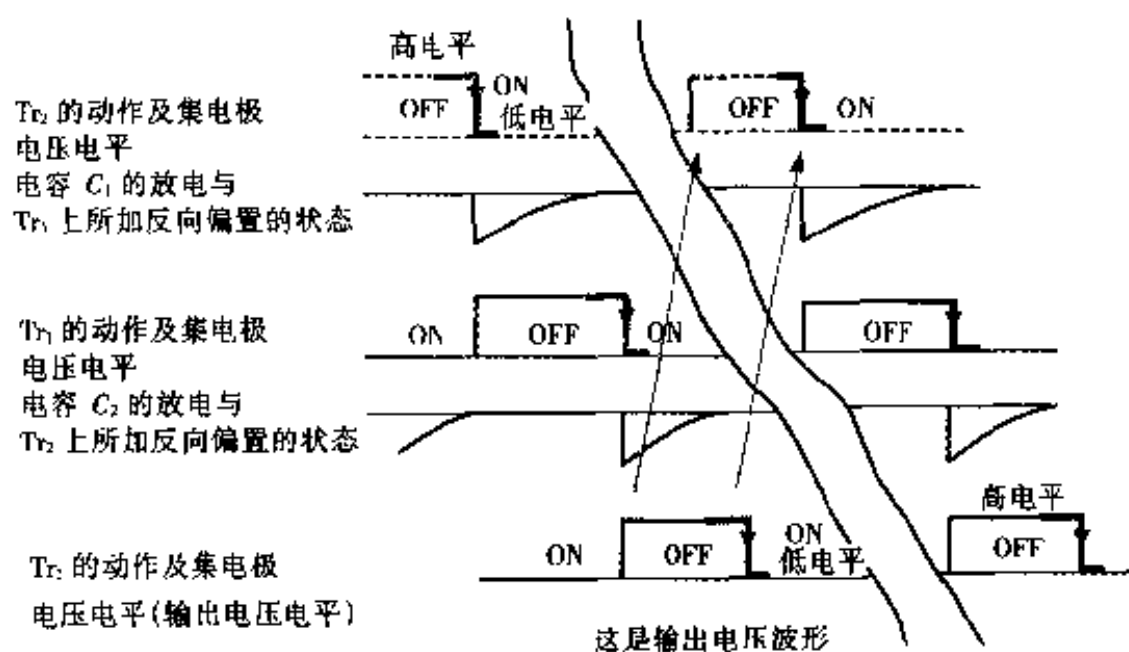
图 2.9 即示出了根据上述的 4 个过程, 电路的各部分动作有什么变化的时间流程图。这里, 希望特别注意的是用信号开关所产生的输入电压电平与输出电压电平的变化关系。

### 2.2.4 自激多谐振荡器的自由振荡和脉冲宽度

在图 2.8 所示电路情况下, 如果没有其他条件, 其动作将不再继续进行。但是, 如图 2.10(a) 一样, 将 2 组电路组合起来, 形成闭合电路时, 其各自信号开关的作用, 由对方的晶体管来承担, 2



(a) 自激多谐振荡器的电路 (与图 2.5 相同)



(b) 表示自由振荡工作的时间流程图

图 2.10 自激多谐振荡器的电路与动作

个晶体管交叉地进行 ON、OFF 动作。图 2.10(b) 是表示其动作的时间流程图。

这里, 若计算脉冲宽度与脉冲间隔, 根据图 2.10(a) 的数值, 可得到:

$$\begin{aligned} \text{脉冲宽度: } t_P &\approx 0.7 C_2 R_{B2} = 0.7 \times 2 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^3 \\ &= 0.35 \text{ 秒} \end{aligned}$$

$$\text{脉冲间隔: } t_K \approx 0.7 C_1 R_{B1} = 0.7 \times 4 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^3 = 0.7 \text{ 秒}$$

$$\text{脉冲重复周期: } T = t_P + t_K = 1.05 \text{ 秒}$$

上面计算式中乘 0.7 的理由, 如图 2.11 所示。即在放电开始的瞬间, 放电通路上加有  $2E (= E + V_{CC})$  的电压, 加快了电容器  $C$  的放电, 经过时间常数的 0.7 倍放电结束。(在 1.6 节中已经说

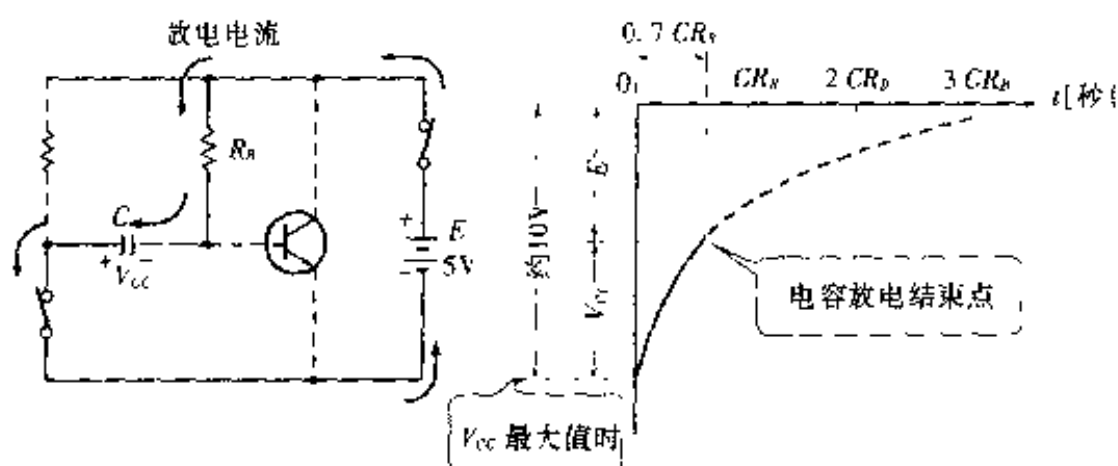


图 2.11 随着电容  $C$  的放电, 反向偏置减少情况

明, 如果放电电路不包括电池, 仅为  $C$  与  $R$ , 放电结束时间约  $4CR$ 。

### 2.2.5 计算机的时钟脉冲

在计算机那样复杂的数字电路中, 如果信号的流动有快有慢, 电路就可能不能正常工作。这样, 就要求配合时间变化产生有正确时间间隔的定时脉冲, 使信号正确通过各个电路。这与乐团演奏时, 要与指挥者的节拍合拍, 使演奏的各种乐器间没有时间差错, 进行和谐的表演一样。

这个依正确的时间间隔所产生的脉冲称为时钟脉冲, 由自激

多谐振荡器产生。

2.2.6 将方波脉冲输入到微分电路中

如图 2.12(a) 所示, 积分电路与微分电路 (参见 1.6.1 节) 有相辅相成的关系, 其关系如图 2.12(b) 所示。例如, 向电容电荷充电时, 随着时间的推移,  $V_C$  增加部分正好是  $V_R$  的减少部分。因此, 微分电路的电压变化, 同积分电路相同, 也用时间常数来决定。

图 2.12(c) 是对  $RC$  微分电路加上方波脉冲时的输出波形。时间常数  $RC$  越小, 输出则是越来越尖锐的波形。这类波形称为触发脉冲, 常用作“起动信号”。

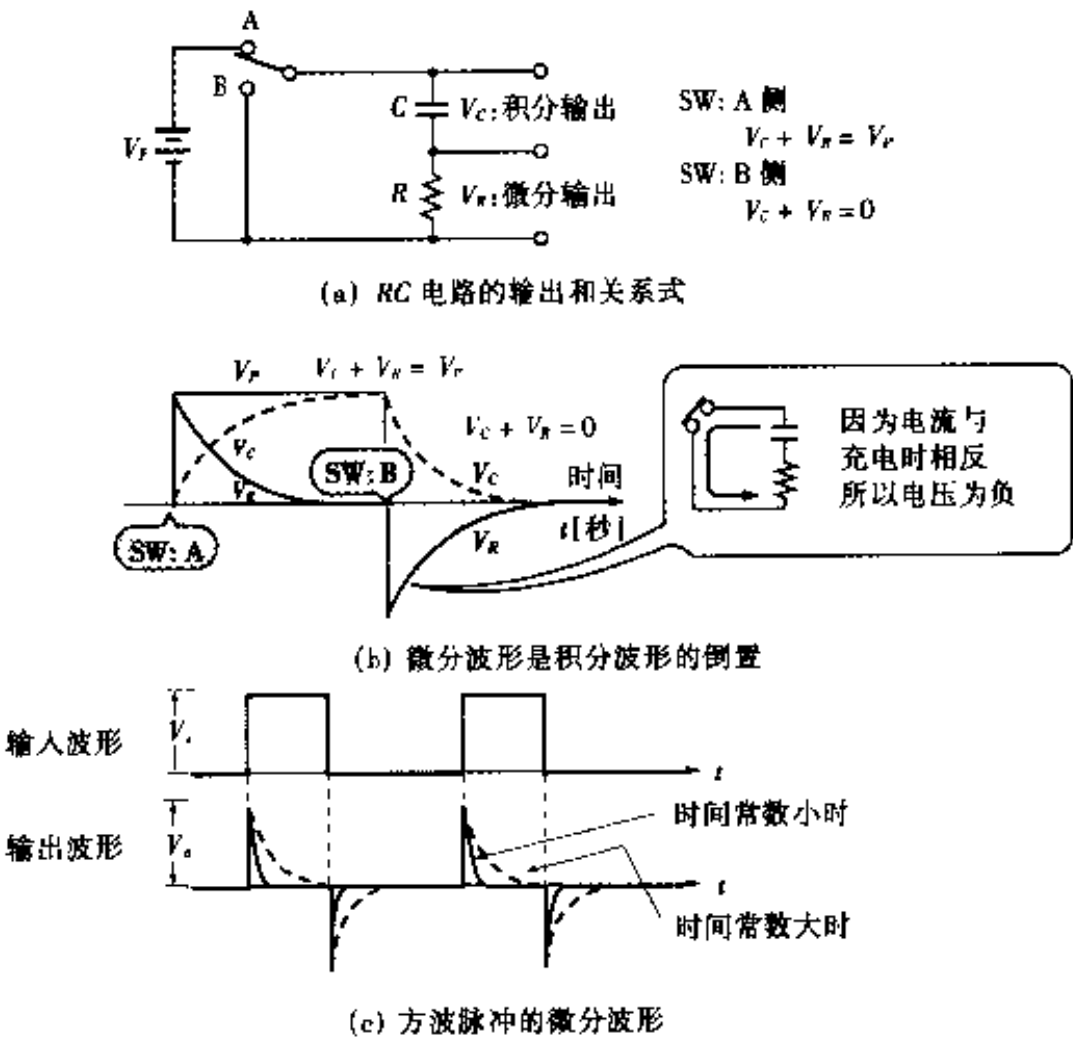


图 2.12  $RC$  微分电路和电压波形

## 2.3 双稳态多谐振荡器

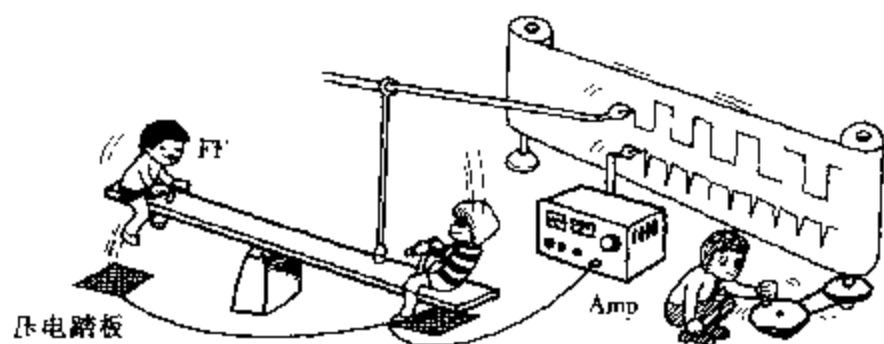


图 2.13 双稳态多谐振荡器是一个跷跷板

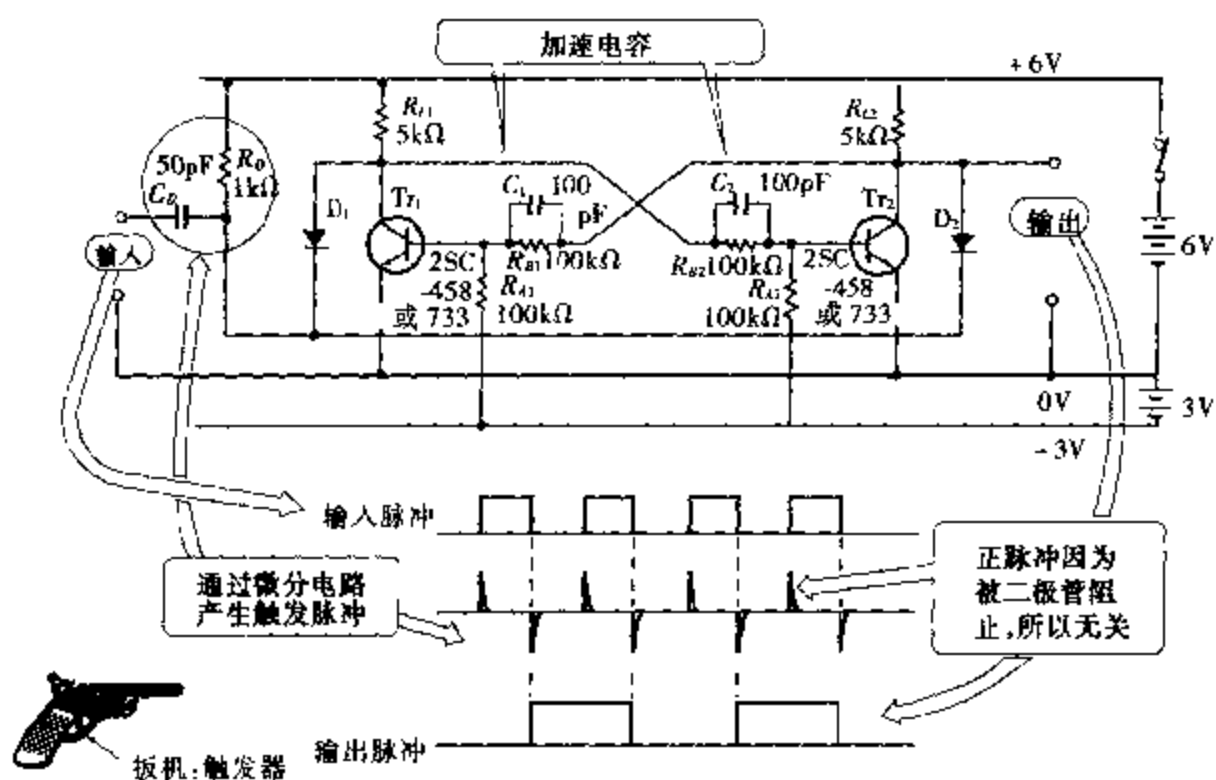


图 2.14 双稳态多谐振荡器的电路和波形 (T 触发器)



### 2.3.1 杠杆式多谐振荡器

双稳态多谐振荡器 (bistable multivibrator) 又称触发器 (Flip Flop) 或称双稳态多谐振荡器, 是输入脉冲信号得到方波信号的电路。

双稳态多谐振荡器简单地说, 如同儿童乐园里看到的跷跷板, 跷跷板的玩法是, 在低位置上的小孩用力蹲踩地面 (相当于输入脉冲), 2 人的位置就逆转。如果 2 个小孩不再蹲踩地面, 则跷跷板的动作就停止了 (如图 2.13)。

双稳态多谐振荡器是由 2 个晶体管组合而成, 一方是 ON 时, 另一方一定是 OFF。如没有输入信号, 则一直维持稳定的状态。2 个晶体管在各种情况下作用均相同, 因此, 称为双稳态多谐振荡器。前述的自激多谐振荡器因为没有这样的稳定点, 所以 ON、OFF 的动作不断地交叉进行。

双稳态多谐振荡器的应用电路大多作为“2 进制的计数”电路和“存储信号”电路, 说它占有计算机内半数以上的数量也不算过份。

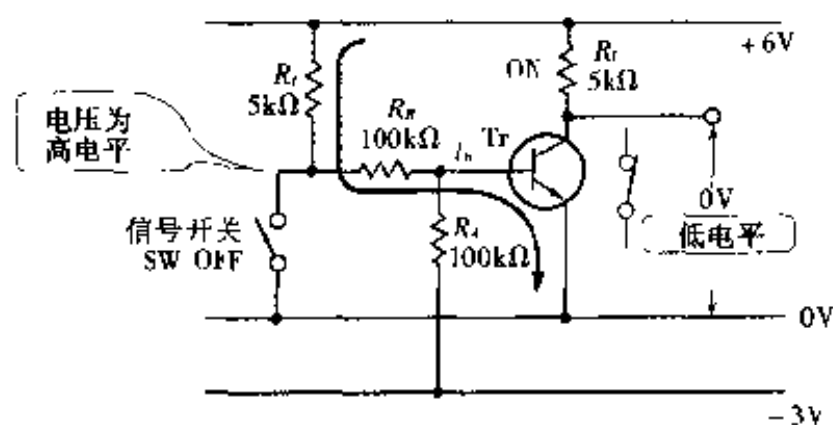
从工作原理对多谐振荡器进行分类, 有自激、单稳态、双稳态等, 当作为双稳态多谐振荡器应用时, 一般称为触发器。因此, 在本书第 3 章以后的应用电路中, 双稳态多谐振荡器称为触发器或 FF。

### 2.3.2 电路的动作

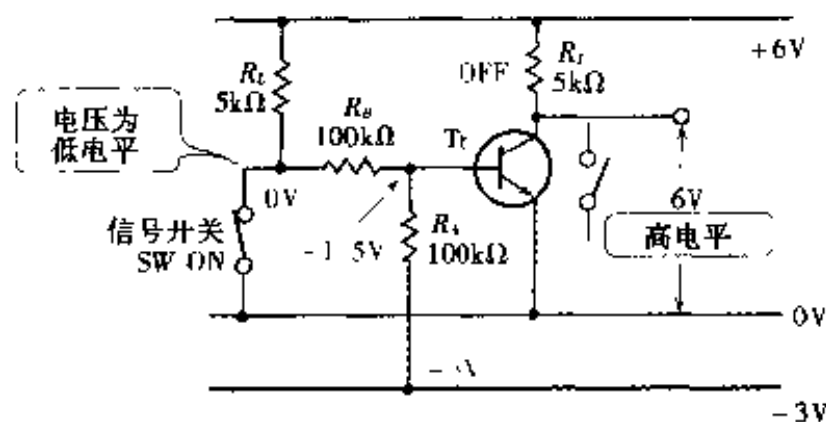
图 2.15 是使晶体管做开关动作的电路, 信号开关 SW 在 OFF 时, 如图 2.15(a) 所示, 晶体管  $T_r$  为 ON。SW 在 ON 时, 如图 2.15(b) 所示,  $T_r$  为 OFF。无论如何, SW 不发生动作时,  $T_r$  维持原状态, 是一个稳定的电路。

图 2.16 是双稳态多谐振荡器电路, 是图 2.15 的组合。电源开关 ON 时, 两个晶体管中的一个为 ON, 这里, 假设  $T_{r2}$  为 ON,  $T_{r1}$  为 OFF。表示这个电路工作情况如图 2.17(a) 所示。

当信号开关 SW 在一瞬间 ON 时, 晶体管  $T_{r1}$ 、 $T_{r2}$  同时通过二极管, 集电极与发射极之间短路。这时,  $T_{r2}$  因为是 ON 状态,  $D_2$  即



(a) SW OFF 时晶体管 ON



(b) SW ON 时晶体管 OFF

图 2.15 晶体管开关电路的 2 个稳定状态

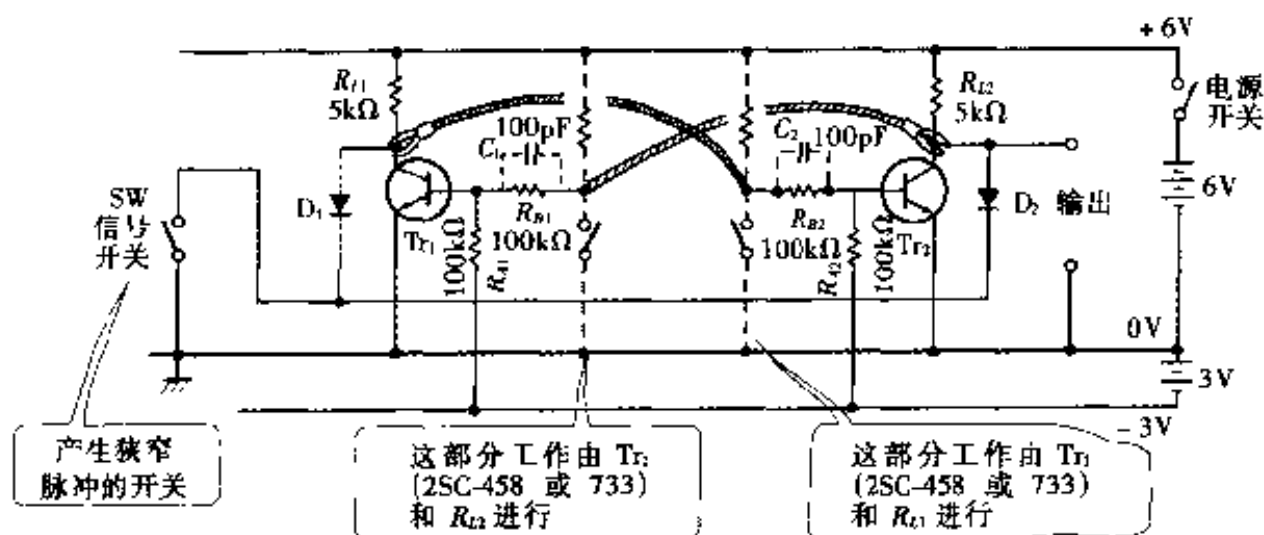
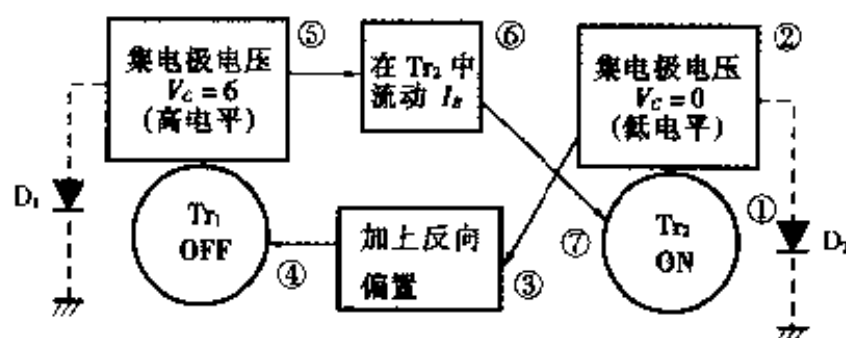


图 2.16 双稳态多谐振荡器电路

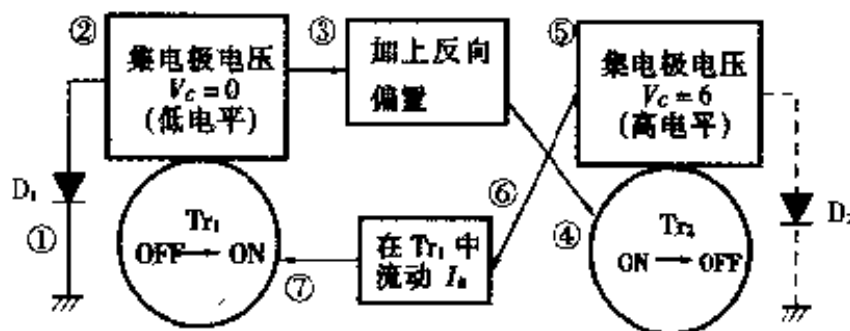
使短路, 集电极电压也没有任何变化。但是,  $Tr_1$  因为  $D_1$  短路 (ON), 集电极电压在瞬间为零, 其变化如图 2.17(b) 所示, 经过这个循环过程, 晶体管的开关动作反转一次。

再一次为信号开关 SW 一瞬间 ON,  $D_1$  不产生影响, 而由于  $D_2, Tr_2$  被短路, 电路的工作状态由图 2.16(b) 变化为图 2.16(a) 的状态。这样, 每操作一次信号开关, 晶体管的状态就反转。这时的



(电源开关在 ON 时的动作例子)

(a)  $Tr_2$  在“ON”时, 工作循环一周后稳定



(b)  $D_1$  在“ON”时工作循环一周,  $Tr$  的状态反转

图 2.17 输入信号工作循环一周,  $Tr$  的状态反转后稳定

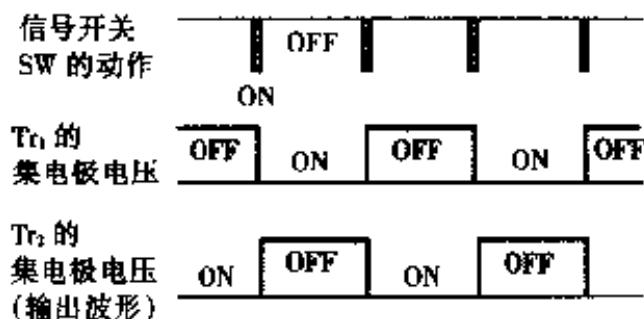


图 2.18 双稳态多谐振荡器的动作

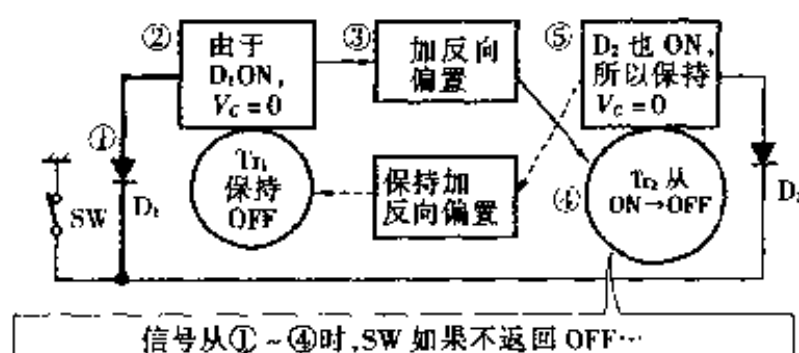


图 2.19 信号 SW 长时间 ON 时

工作状态和电压波形如图 2.18 所示。

### 2.3.3 触发脉冲和加速电容

图 2.15 中信号开关的操作如果不是一瞬间完成,而是稍稍长时间的保持 ON 时,晶体管的 ON, OFF 动作的反转在中途即停止,其原因如图 2.19 所示。图 2.19 中设  $T_{r1}$ :OFF,  $T_{r2}$ :ON(图 2.17(a))的状态,这时,SW 为 ON 时,则与图 2.17(b)的情况相同,由于二极管  $D_1$  为 ON,  $T_{r2}$  的集电极电压为零。其结果,  $T_{r2}$  从 ON 反转为 OFF。但是,这时“SW 保持 ON”状态,因为  $D_2$  为 ON,  $T_{r2}$  的集电极电压“保持为零”,因此,动作在这里就不再进行下去了。

为了使晶体管的反转动作能够顺利完成,必须要有狭窄的脉冲,这样的脉冲称为触发脉冲。触发脉冲如同第 1 章中说明那样由微分电路产生。

另外,图 2.16 中,用虚线所表示的电容  $C$ ,称为加速电容,是为了使晶体管的反转动作能“快速、准确地”进行。

双稳态多谐振荡器,其典型的组成如图 2.14 所示。

## 2.4 单稳态多谐振荡器

穿着防雨短大衣  
显得笨拙



One Shot



图 2.20 机会只有一次

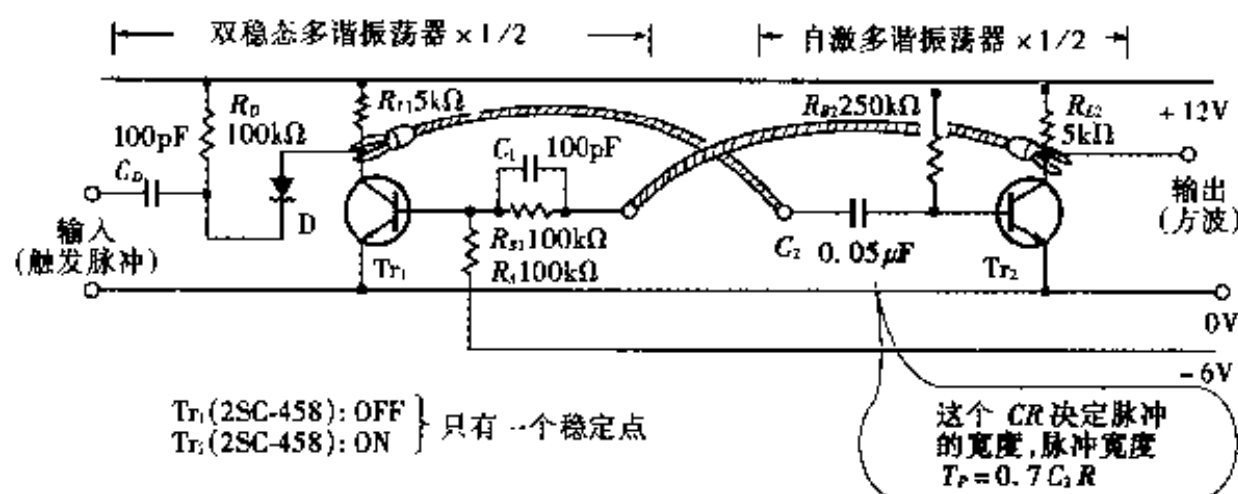


图 2.21 单稳态多谐振荡器电路

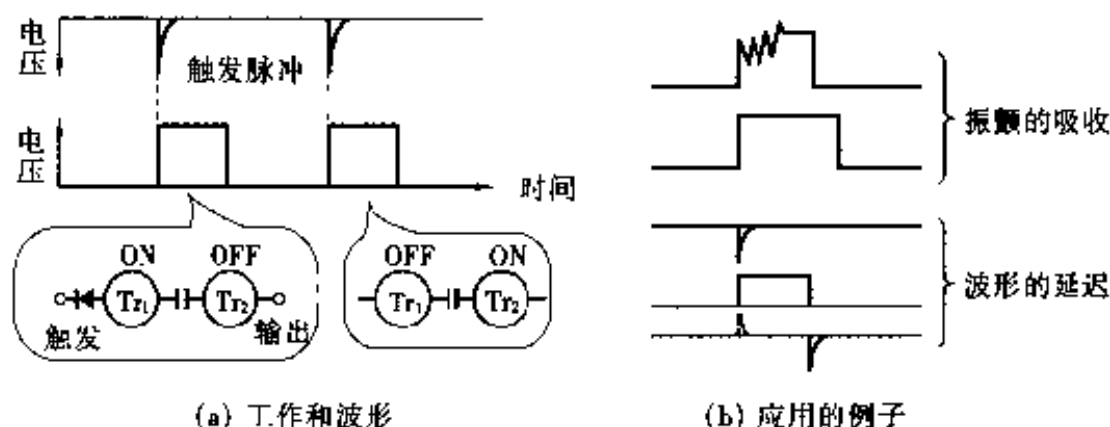


图 2.22 单稳态多谐振荡器的波形和电路

### 2.4.1 “只有一次”的多谐振荡器

单稳态多谐振荡器 (monostable multivibrator) 又称 one shot 或一稳态多谐振荡器。这是每输入一个触发脉冲, 则输出一个方波的电路。

one shot 是指发射一粒子弹, 因此也是指输入一个触发脉冲, 输出 1 个方波。

这个电路是用自激多谐振荡器与双稳态多谐振荡器各一半合成, 只有一个稳定状态。这种电路用于防振颤、波形整形、信号延迟等情况。

### 2.4.2 电路的动作和使用例子

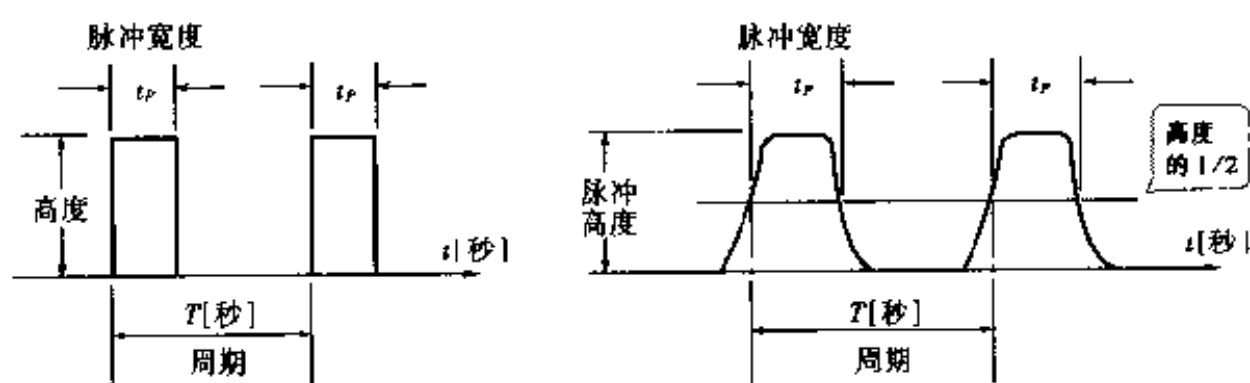
在图 2.21 中, 晶体管  $Tr_1$  (双稳态多谐振荡器的 1/2) 上, 一有输入, 无论 ON、OFF 均可维持稳定的状态。但是晶体管  $Tr_2$  (自激多谐振荡器的 1/2) 只有 ON 时, 是稳定的状态, 即使有短时间 OFF, 也一定回到 ON。这两者组合时,  $Tr_2$  为 ON, 在这个影响下,  $Tr_1$  为 OFF 状态。

当触发脉冲输入到电路,  $Tr_1$  的偏置电路二极管为 ON,  $Tr_1$  的集电极电压为零。在这个影响下,  $Tr_2$  变为 OFF。因此,  $Tr_2$  的集电极电压由零变为高电平, 这样  $Tr_1$  固定为 ON 状态。但是当电容  $C_2$  的电荷放电结束,  $Tr_2$  脱离  $Tr_1$  的影响, 回到 ON,  $Tr_1$  也为 OFF, 且保持这个状态。 $C_2$  的放电时间 ( $0.7 C_2 R$  [秒]) 为脉冲宽度。

$Tr_1$  在 ON 期间, 再有触发脉冲输入, 其电路状态也不变化。这个性质可应用于吸收振颤的电路 (图 2.22(b))。

另外, 还可以将触发脉冲这种细脉冲整形到具有一定宽度的方波来应用。而且, 将单稳态多谐振荡器的输出方波通过  $CR$  电路进行微分时, 能够使触发脉冲延迟  $0.7 C_2 R$  [秒] (相当于脉冲宽度)。

## 2.5 脉冲宽度与占空比



(a) 理想的脉冲无圆角

(b) 实际的脉冲有圆角, 失去理想状态

图 2.23 理想的脉冲和实际的脉冲

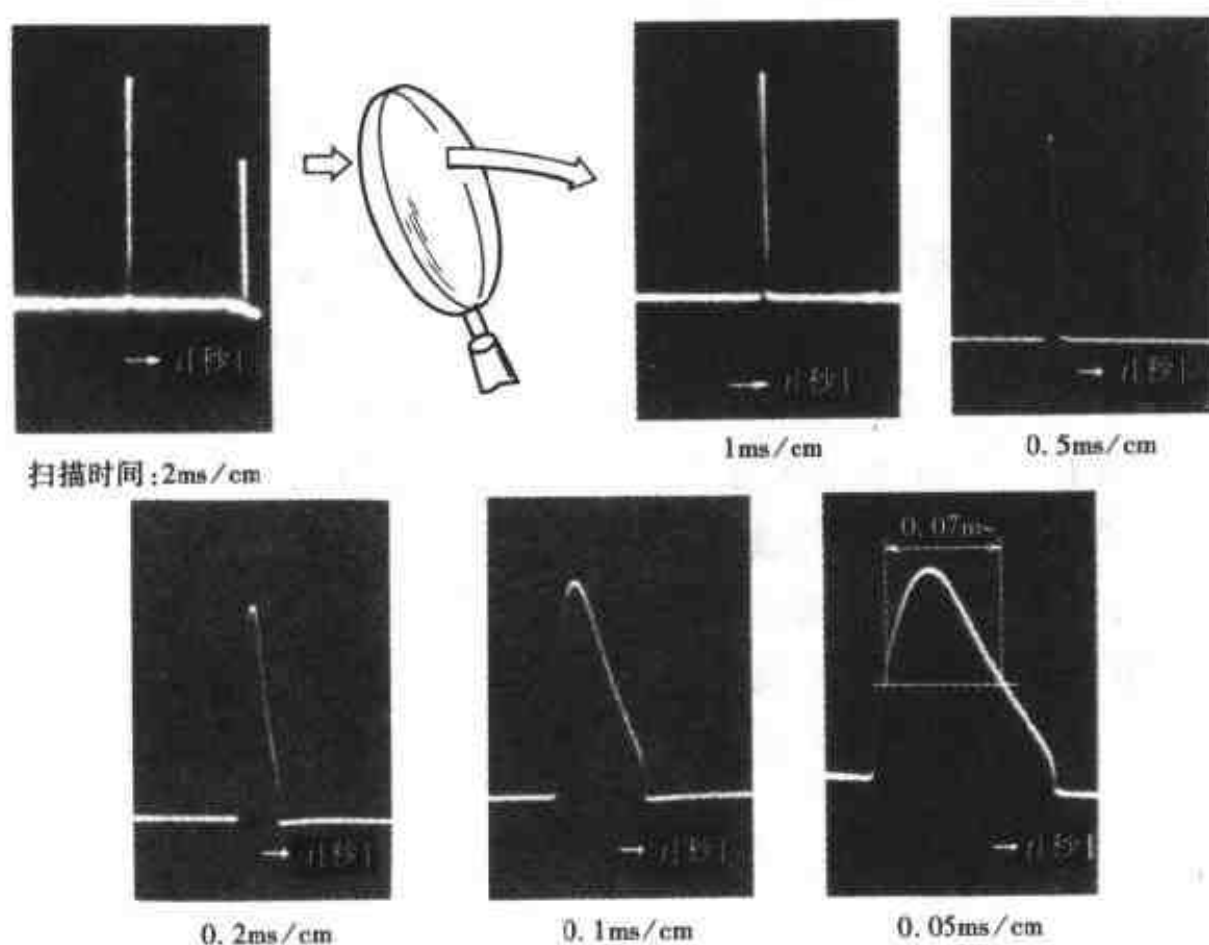


图 2.24 用放大镜看触发脉冲的宽度

### 2.5.1 脉冲宽度与占空比的计算

在讲解自激多谐振荡器的一节中,已经计算过脉冲宽度和重复周期,这里以图 2.25 为例,再计算一次。

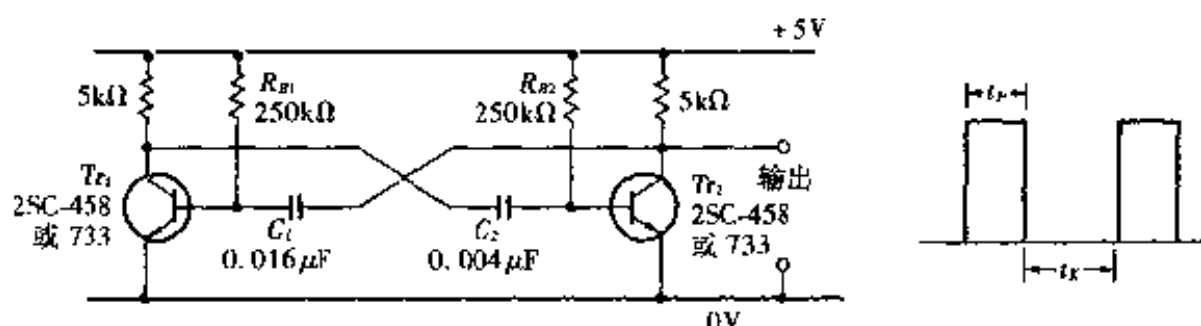


图 2.25 自激多谐振荡器和它的输出波形

脉冲宽度:  $t_P \approx 0.7 C_2 R_{B2} = 0.7 \times 0.004 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^3 = 0.7 \text{ms}$

脉冲间隔:  $t_K \approx 0.7 C_1 R_{B1} = 0.7 \times 0.016 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^3 = 2.8 \text{ms}$

重复周期:  $T = t_P + t_K = 0.7 + 2.8 = 3.5 \text{ms}$

占空比:  $D = t_P / T = 0.7 / 3.5 = 1/5$

占空比  $D$  又称冲击系数,用脉冲宽度  $t_P$  与重复周期  $T$  的比表示。

根据这种计算,前节双稳态多谐振荡器中学到的触发脉冲的占空比  $D$  是相当小的。

### 2.5.2 脉冲性能的掌握方法

图 2.23(a) 所示脉冲是理想脉冲的形状,实际上是做不到的。

例如,即使自激多谐振荡器的输出是如图 2.26(a) 所示的方波,当用示波器扩大其时间轴来观察时,则如图 2.26(b) 所示,在方角部分,呈现圆角现象。再扩大来看时,如图 2.26(c) 所示,前沿上升部分也呈现倾斜。

这样,在严密地把握脉冲的性能时,脉冲宽度与占空比控制在什么数值不明确(如图 2.27(a))。这里为更方便把握脉冲性能,



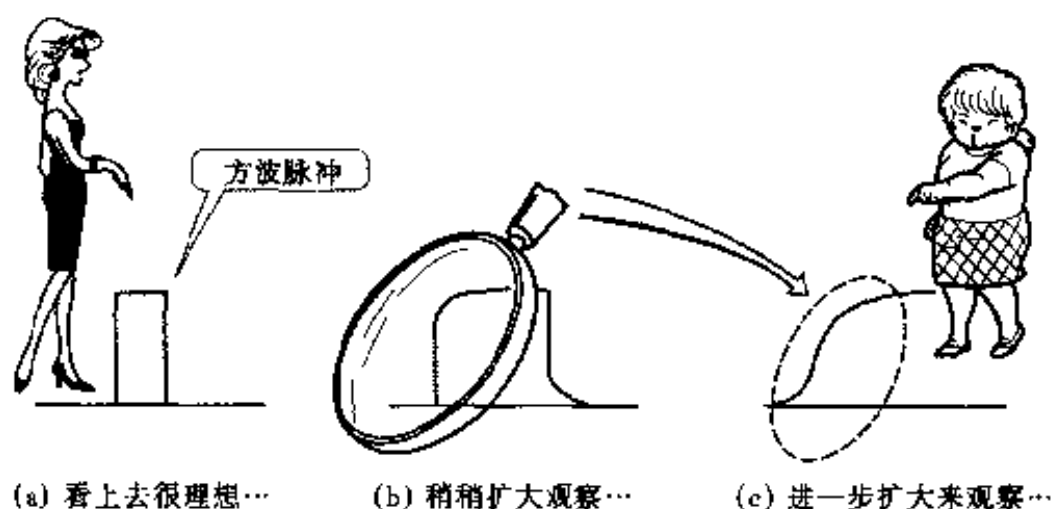


图 2.26 理想的脉冲存在吗?

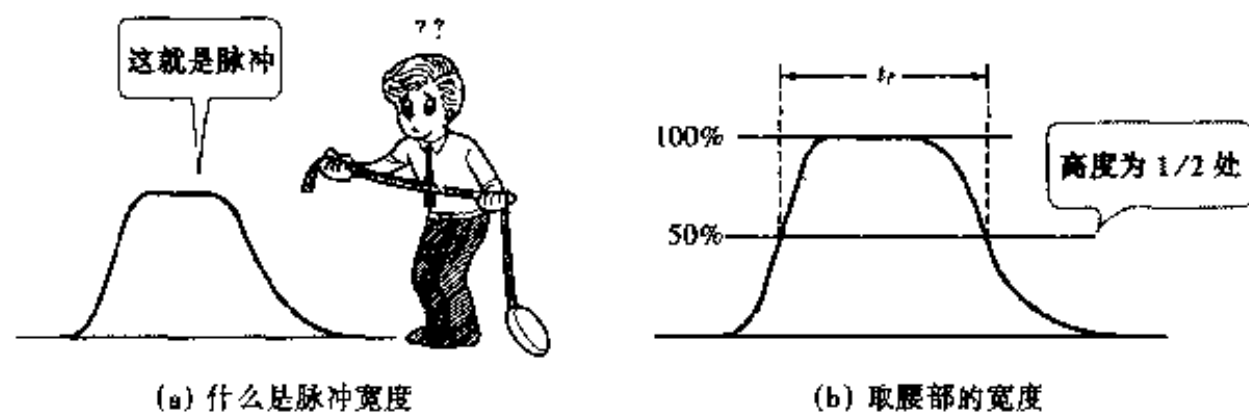


图 2.27 脉冲宽度的定义

有图2.27(b)所示的定义。

另外，大家已经看到触发脉冲的宽度相当狭窄，脉冲的宽度相当难测定，用时间轴扩大的示波器来观察，就看到如图 2.24 所示的照片一样。因此，用图 2.27(b)的定义，这个照片上的脉冲宽度为  $0.07\text{ms}$ 。

### 2.5.3 如果通过电路，方波角就变圆

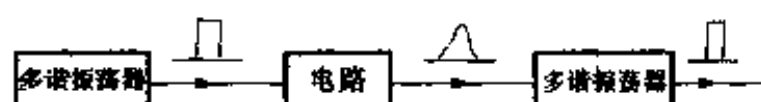
多谐振荡器的输出脉冲如前节说明的那样，方角多少有些圆，即使如此还是近似于正方形。

但是计算机等的电子电路主要是由半导体、电阻及电容构成，而电路本身也存在电阻、电容及电抗的成分。因此，信号脉冲通过电路时，受积分电路、微分电路的影响，变成具有圆角的脉冲形状。

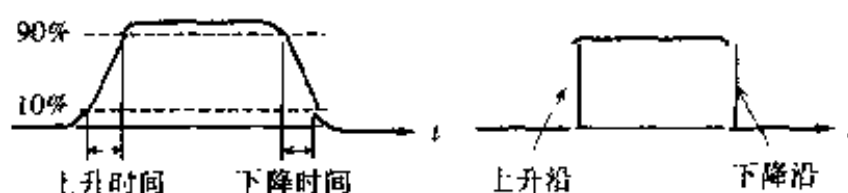
也即通过电子电路的脉冲,除了用多谐振荡器整形外,要失去原来形状。因此,如图 2.28(b)所示,上升及下降均为平坦的脉冲,可认为是正常的脉冲。

然而,失去原来形状的脉冲也可能给电路工作带来危害,因此在脉冲处理上用图 2.28(b)进行定义。为说明电路的工作,上升及下降部分用图 2.28(c)中所示的名称。

图 2.28(d)所示的各种波形也是脉冲的一部分。



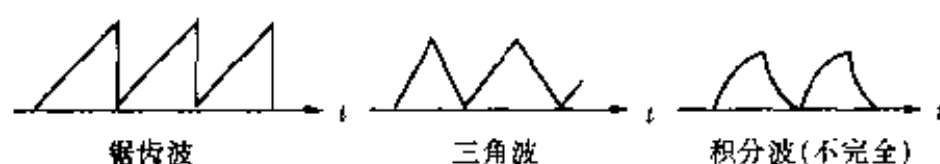
(a) 通过  $C$  和  $R$  电路失去脉冲形状



(b) 上升和下降时间的定义



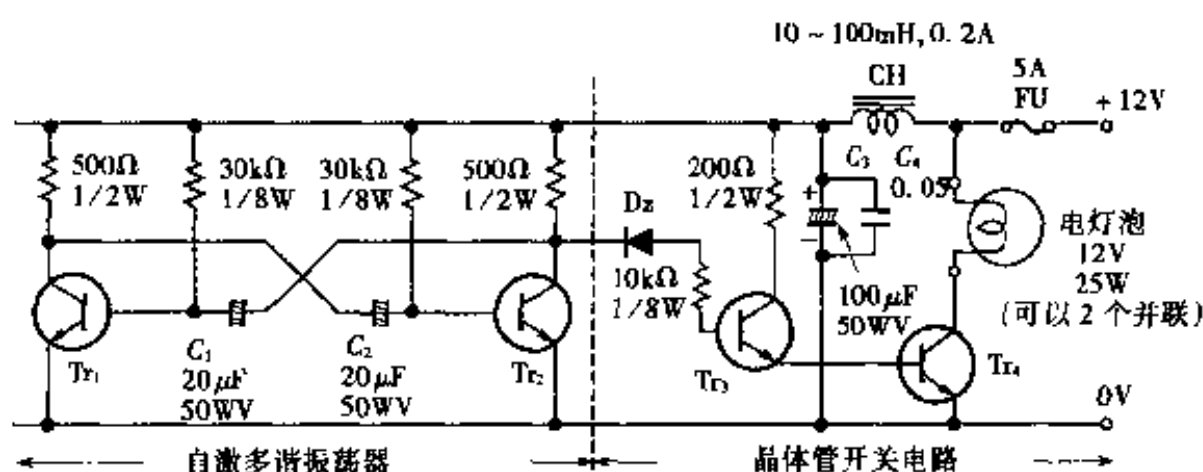
(c) 上升与下降的名称



(d) 这也是脉冲

图 2.28 各种形状的脉冲

## 本章小结

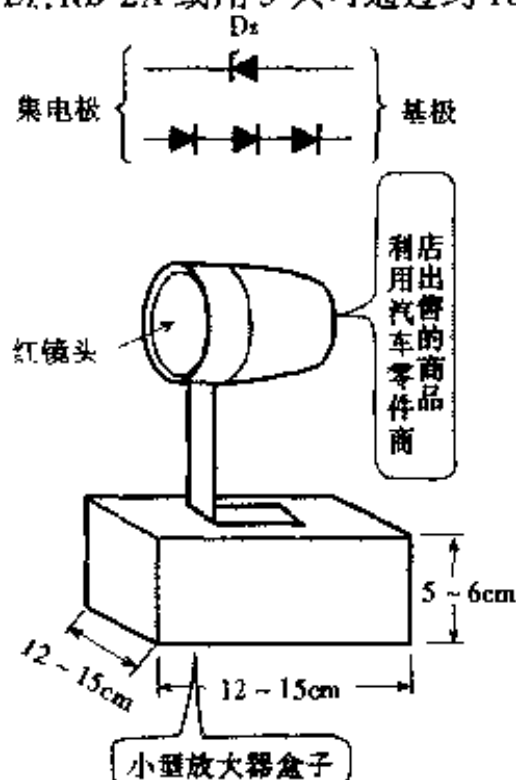


$Tr_1$ 、 $Tr_2$ 、 $Tr_3$ : 2SC-372、2SC-735 等, 其集电极电流为 200mA 左右, 为 npn 型  
 $Tr_4$ : 2SC-4294、2SD-288, 当使用能流过 5A 集电极电流的 npn 型晶体管时, 哪种型号均可

注 1.  $Tr_4$  要散热, 可直接接在外壳上(要使用绝缘物)

2. 电灯闪亮时间的调整用  $C_1$ 、 $C_2$  来进行

$D_z$ : RD-2A 或用 3 只可通过约 10mA 的二极管串联



已经接触到的多谐振荡器及其电路, 大部分是应用广泛的数字电子机器、计算机的主要基本电路, 为了加深理解多谐振荡器的工作原理, 试着制作一个闪光装置。

该装置装在汽车后部的窗口处或放在路上, 在对汽车轮胎等进行修理时, 作为警告灯利用。

图 2.29 闪光灯电路的例子

# III

## 控制信号通过的 电路(门电路)

---

计算机等数字电子机器内部,通过“控制信号”的操作,使数字信号流动,让机器工作。

使数字信号的流动、停止,或者改变其流向等,这样的操作电路称为门电路。不过,数字信号也好,控制信号也好,都是一样的脉冲。因此,信号脉冲、控制脉冲,都是根据它所起的作用来改变信号的流动。这种理解是学习门电路的基础。

门电路一般称为逻辑电路。但是,本章按照控制信号流动这个意义,仍称为门电路。有关电路的理论问题在第5章中说明。

# 3.1 门是收取通行费的地方吗?

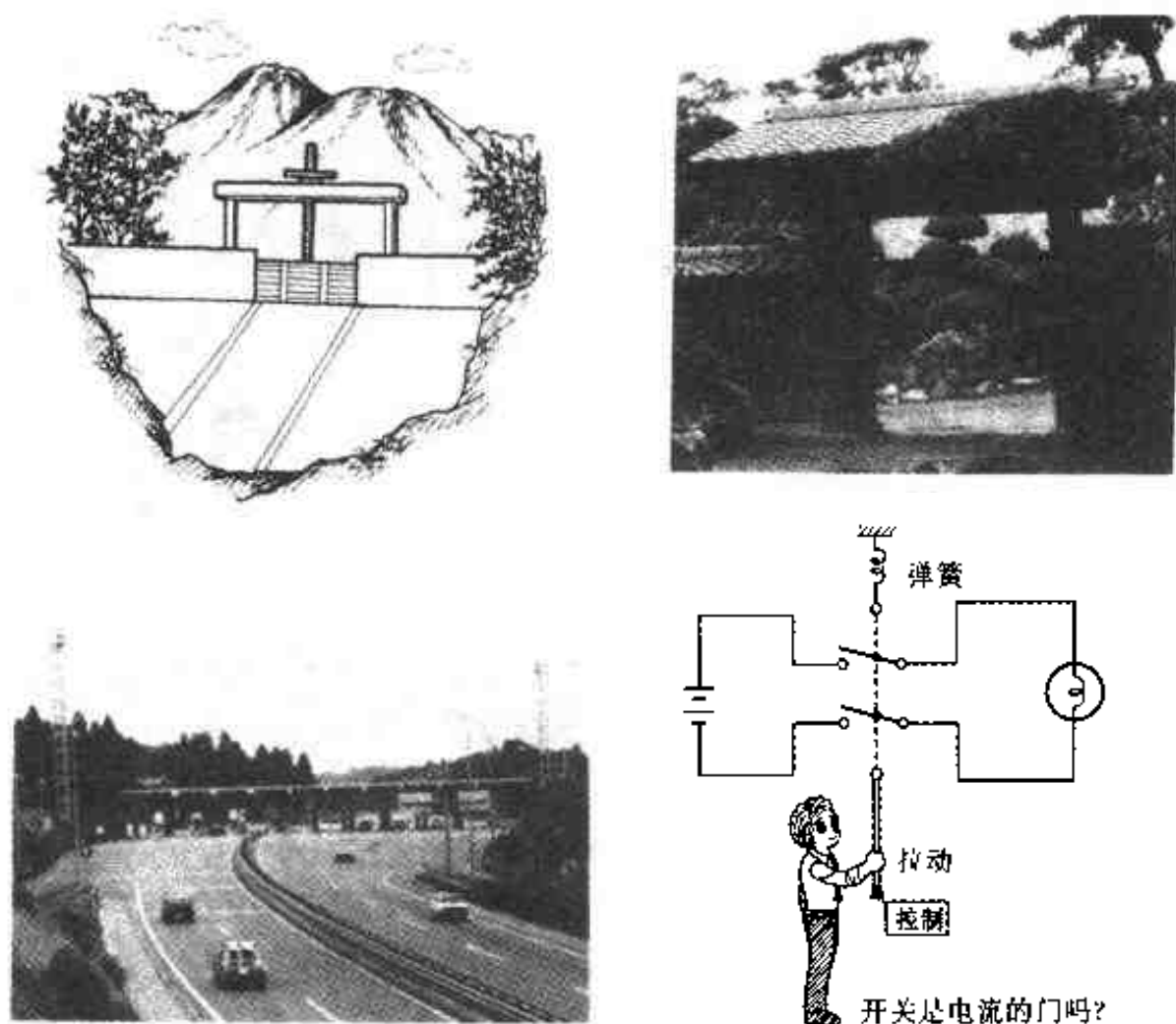


图 3.1 各种各样的门

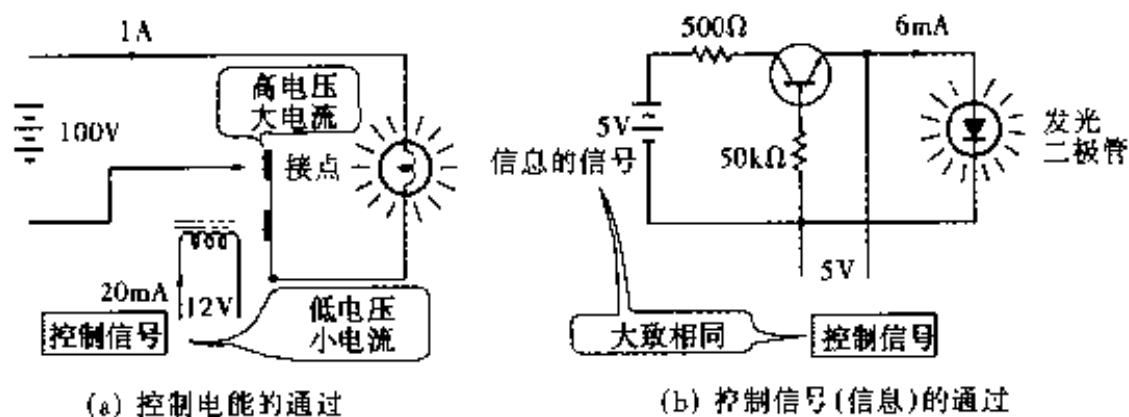


图 3.2 门电路的动作和控制信号

### 3.1.1 门是控制能否通过的场所

gate 具有“门”、“城门”、“出入口”的意义。一般家庭的门可以不断通过出入,而城门不在规定时间内不能自由出入。

水门通过门的开、关控制水流,高速道路出入口(收费处)如果不付通行费,出入口就要关闭。而电气电路的开关也是一种门,它由外部的操作,ON 使电流通过或者 OFF 截断。

根据以上事实,可知门不是收取费用的地方,而是控制可否流通的场所。

### 3.1.2 数字电路中的门

电气电路中的开关,一般是控制大电压、大电流的 ON 或 OFF。在数字电路中所遇到的信号电压是 5~10V 以下,电流也大多是 1mA 以下。因此,控制这样的数字信号所用的控制信号,其电压大多在 5~10V 以下,电流在 1mA 以下。

也即,在数字电路内,传送信息的脉冲(数字信号)和控制它的控制脉冲(控制信号)大致均为相同大小。从脉冲的大小上无法判断是什么信号。因此,在学习门电路时,不去分别它是信号脉冲或者是控制脉冲,只讨论 A 和 B 的两个脉冲进入门电路……或者 A、B、C 三个脉冲进入门电路时“门电路的输出是什么?”

这样,对于开关门电路的脉冲(控制脉冲)和通过门电路的脉冲(信号脉冲)是同等处理的,对其数学上的说明,在第 5 章的逻辑电路部分进行。

### 3.1.3 高电平电压与低电平电压

在第 1 章已经说明过,数字电路的特征是非常明确的区分“白”与“黑”。也即只要判别有无即可。因此,数字电路中,将有脉冲时电压设为高电平,用 H 表示,无脉冲时电压设为低电平,用 L 表示。

## 3.2 AND、OR 和 NOT 门

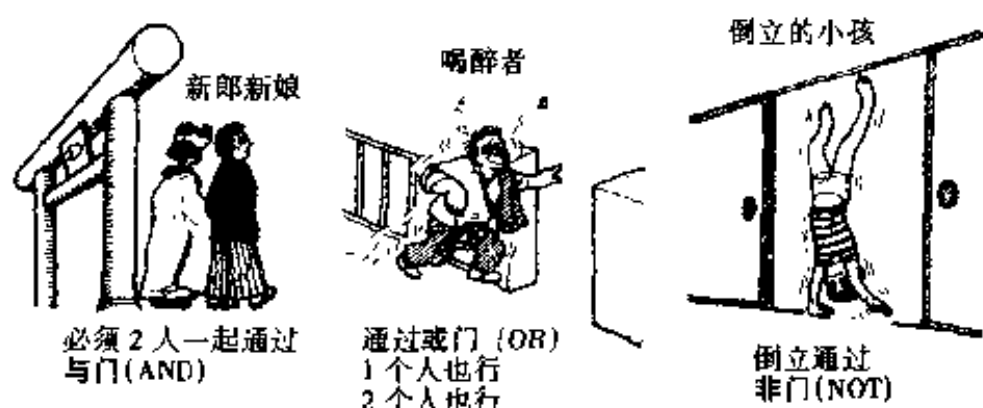


图 3.3 通过门的方式

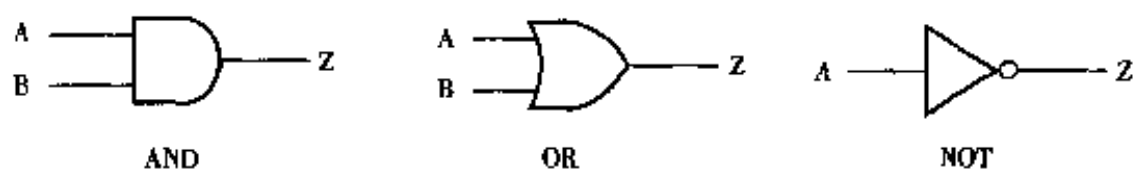
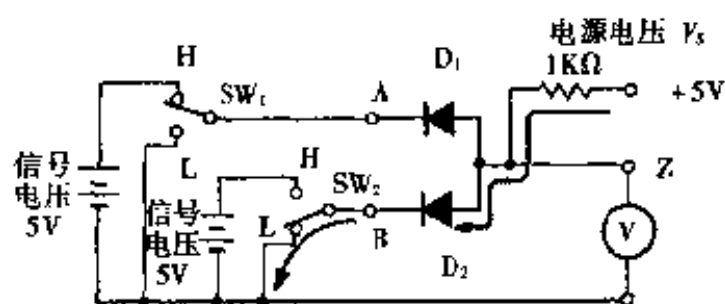
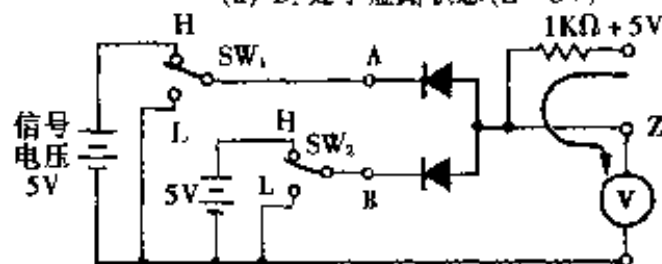


图 3.4 基本门电路的符号

(a)  $D_2$  处于短路状态 ( $Z=0V$ )(b)  $D_1, D_2$  均处于 OFF 状态 ( $Z=5V$ )

输入电压的电平		输出电压
A	B	Z
L	L	L
H	L	L
L	H	L
H	H	H

(c) 符号和动作表

图 3.5 AND 门的内部电路和动作

### 3.2.1 3 种基本门电路(基本逻辑电路)

基本的门电路是 **AND**(与门)、**OR**(或门)、**NOT**(非门), 图 3.4 所示是各种门的符号, 其动作如下:

(a) **AND**(与门): 2 个输入端 A 和 B, 只有同时有脉冲输入时, 端子 Z 才输出脉冲。

(b) **OR**(或门): 端子 A 或 B 中任一个有脉冲输入时, 端子 Z 有脉冲输出。当然, A 与 B 同时有脉冲输入时, Z 也有脉冲输出。

(c) **NOT**(非门): 输入端 A 为“L 电平”时, 输出端 Z 为“H 电平”, 端子 A 有脉冲输入时, 才能使 Z 为“L 电平”, 非门又称反向器。

即 AND 门只能 2 人同时通过, OR 门是 1 人也可通过、2 人也可通过, NOT 门是只有倒立的人才能通过。

### 3.2.2 AND 门电路和动作

图 3.5 是只能 2 人同时通过的门的内部电路。这里同时操作开关  $SW_1$ 、 $SW_2$ , 来观察一下输出端子的电压。

在图 3.5(a)中, 门的端子 A 处加上 H 电平(5V)的信号电压, 端子 B 处加上 L 电平(0V)的信号电压。这时二极管  $D_2$  处于 **ON** 状态(因为加上正向电压), 门的输出端 Z 被短路, 因此, Z 为 L 电平( $Z \approx 0$ )。

端子 A 为 L 电平时, B 即使是 H 电平, 同样仍然  $Z \approx 0$ 。另外, 端子 A 和 B 均为 L 电平时, 当然  $Z \approx 0$ 。

在图 3.5(b)中, 门的输入端 A 与 B 同时加上 H 电平(5V)的信号电压, 二极管均为 **OFF**, 电源电压( $V_s = 5V$ )送到输出端, Z 为 H 电平(5V)。

列出这种关系如图 3.5(c)所示, 其表示了 AND 门的动作。

### 3.2.3 OR 门电路和动作

图 3.6(a)中, 操作信号开关  $SW_1$ 、 $SW_2$ , 来观察输出端 Z 的电



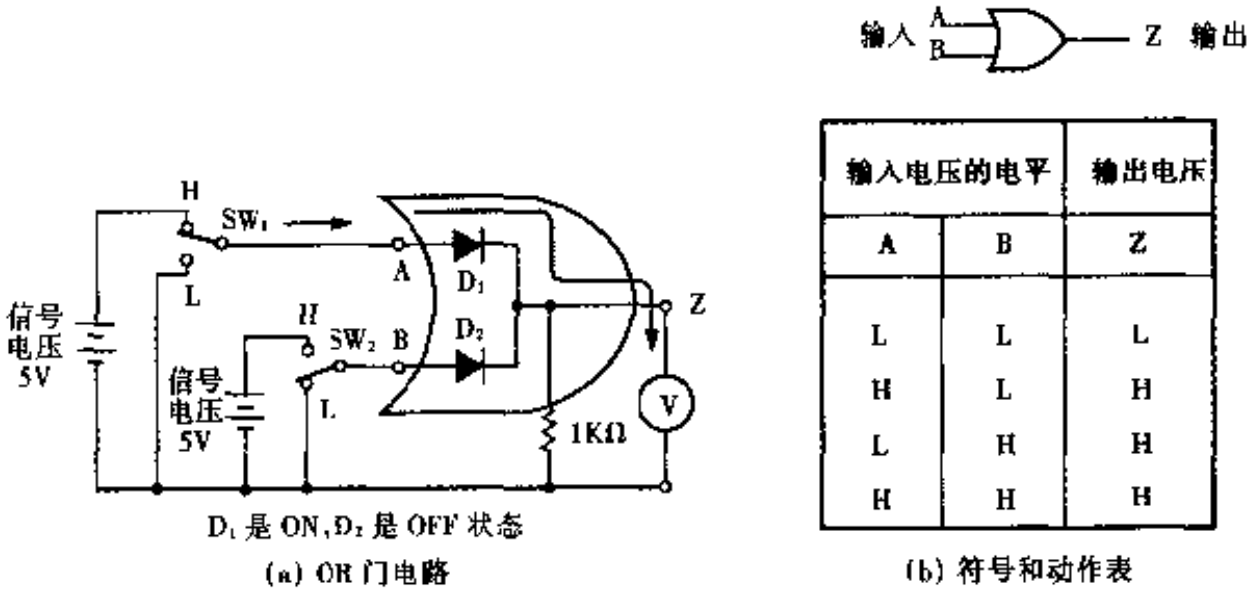


图 3.6 OR 门电路的内部电路和动作

压变化情况,如图 3.6(b)所示。

这是一个单纯由二极管组成的电路,输入端 A 与 B 中,无论哪一个的信号电压是 H 电平时,输出端 Z 的电压也是 H 电平,这是很好理解的。另外,A 与 B 同时为 H 电平时,同样 Z 的电压为 H 电平。而输出端 Z 要成为 L 电平,只有加在 A 与 B 处信号电压均为 L 电平时才能实现。

3.2.4 NOT 门电路和动作

图 3.7(a)是 NOT 门 电路。输入端 A 加入信号电压为 H 电平时,基极电流  $I_B$  流通,晶体管的工作为 ON(短路状态),输出 Z 为 L 电平 ( $Z \approx 0$ )。这时,必须设定  $I_B$ ,使得集电极电流  $I_C$  为饱和状态。设定基极电流  $I_B$  的阻抗  $R_B$  的数值为  $10R_L < R_B < h_F R_L$ 。  $h_F$  是晶体管发射极接地时的电流放大率。

如图 3.7(b)所示,加到 A 的信号电压为 L 电平时,基极电流为零,因此,晶体管为 OFF,输出 Z 为 H 电平。

3.2.5 各类门的输入与输出波形

以上说明的只是各类门的输入与输出的电平关系,这里再讨论一下当二个输入有时间差时的输出波形(如图 3.8)。

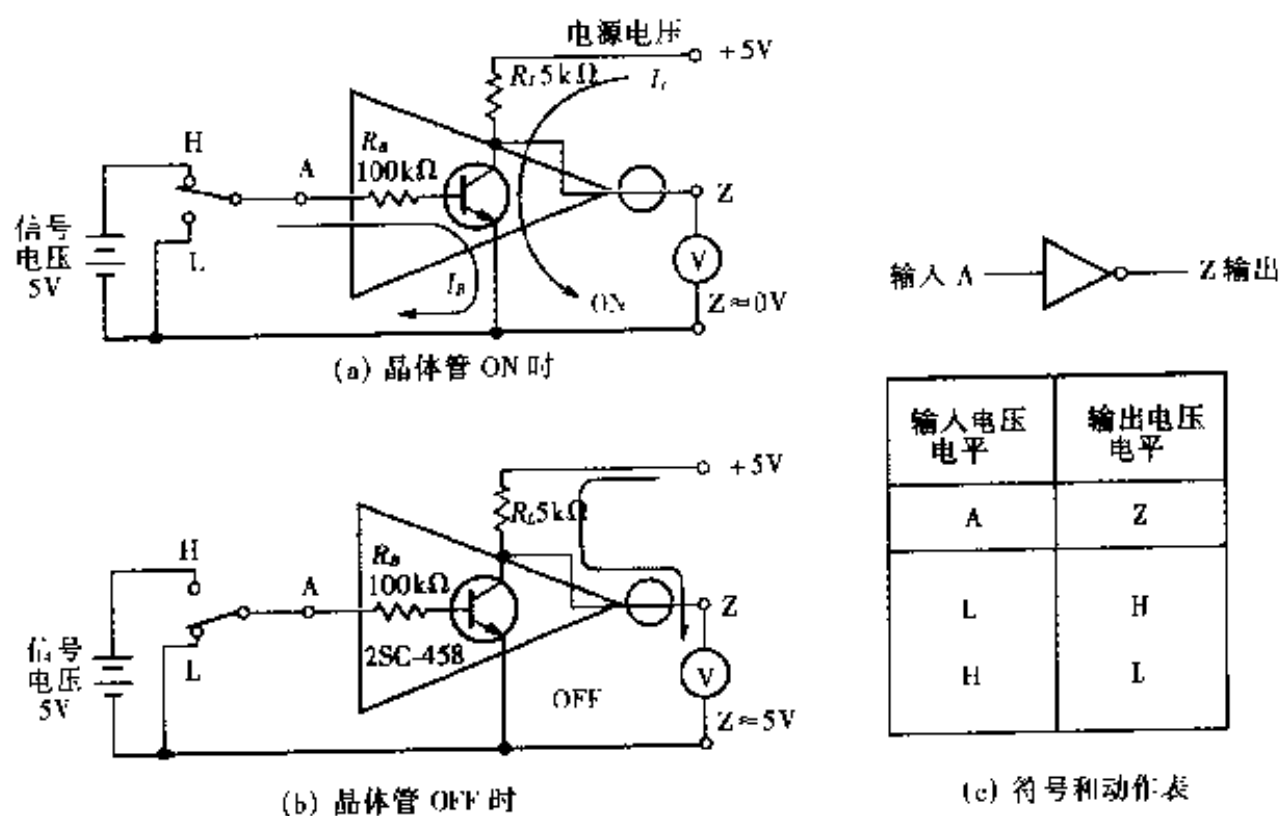


图 3.7 NOT 门的内部电路和动作

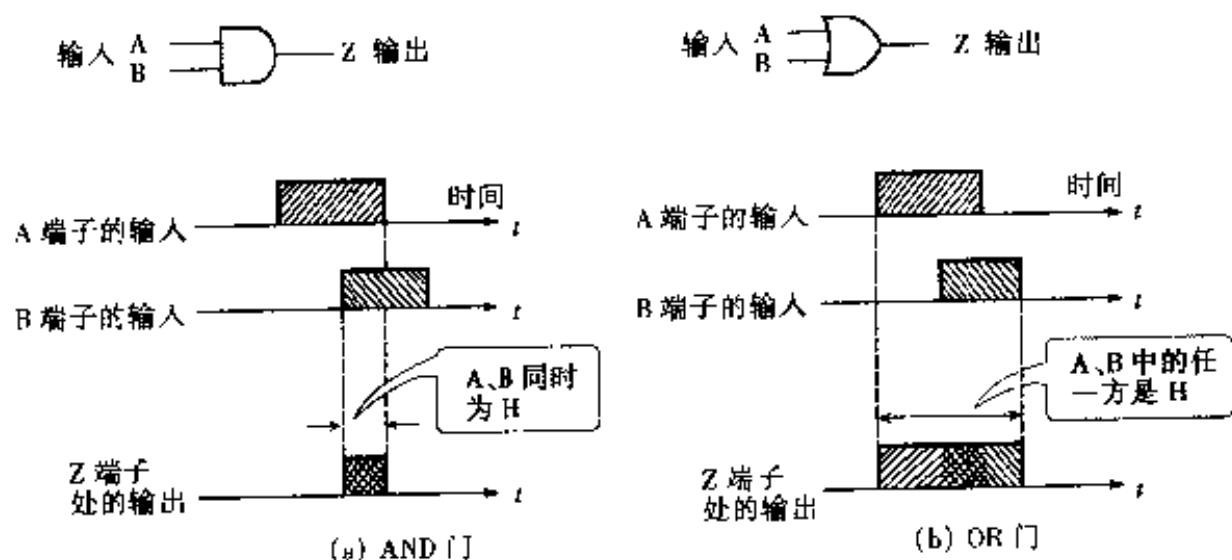


图 3.8 门的输入及输出波形

## 3.3 二重门的作用

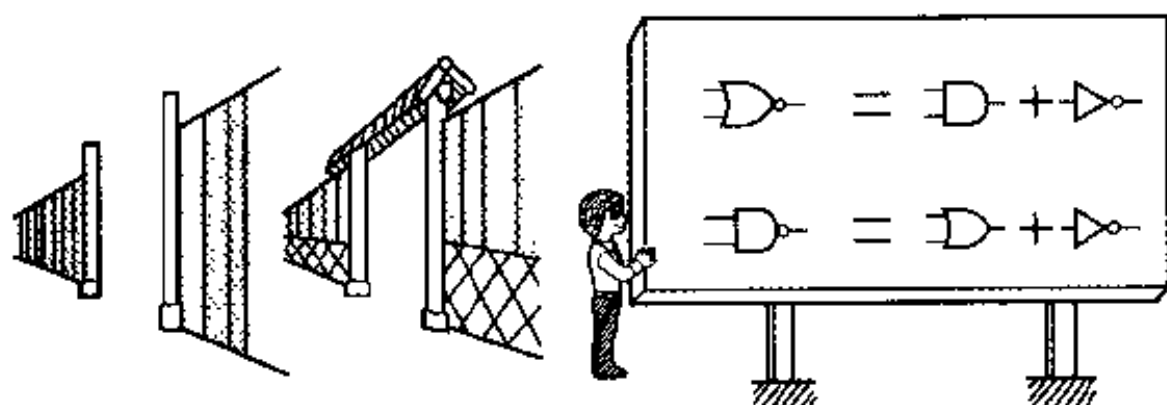


图 3.9 二重门的电路构造

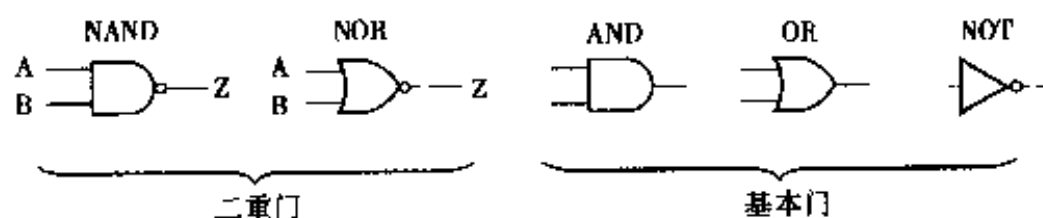


图 3.10 常用的 5 种门

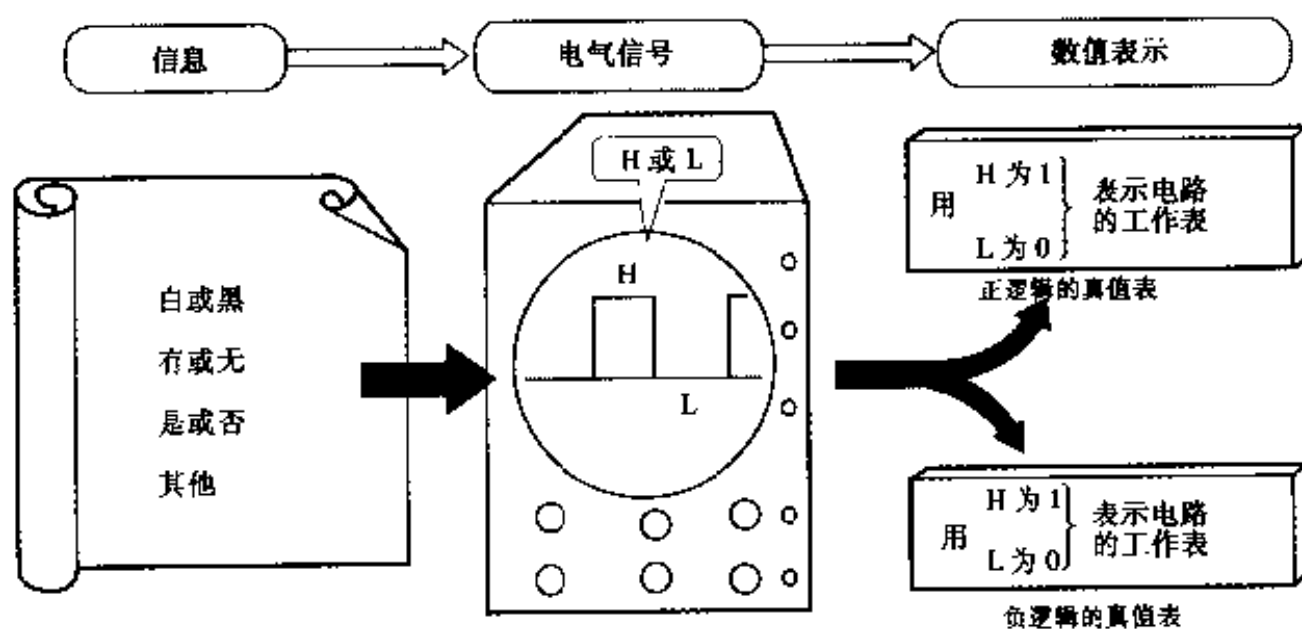


图 3.11 数字电路的工作和真值表的关系

### 3.3.1 基本门的组合

作为各类门电路的基本电路是 AND 门、OR 门、NOT 门三种。在数字电子机器中,通过各类门的组合来进行信号处理。

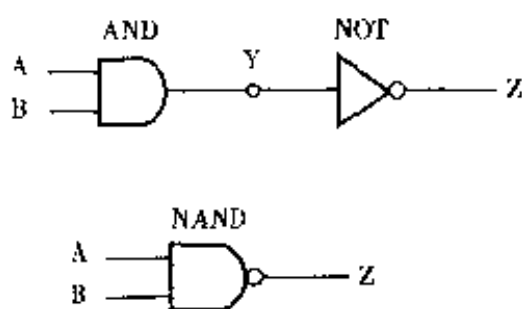
通过这些门(AND、OR、NOT)的组合,可以组成两种新的门电路。

第 1 种是由 AND 与 NOT 组成的 **NAND**(与非门),另 1 种是 OR 与 NOT 组成的 **NOR**(或非门)。

完全理解这 5 种门(AND、OR、NOT、NAND、NOR)的工作原理,也是理解数字电路的一个关键。

### 3.3.2 NAND 门电路的组成和动作

NAND 门如图 3.12 所示,由 AND 与 NOT 连接而成。AND 的输出端设为 Y 时,这个 Y 也是 NOT 门的输入端,因此, NAND 门的工作原理,只要应用已经学过的 AND 与 NOT 的原理,将它组合



(a) NAND 门的符号和组成

输入电压的电平		中间电压的电平	输出电压的电平
A	B	Y	Z
L	L	L	H
H	L	L	H
L	H	L	H
H	H	H	L

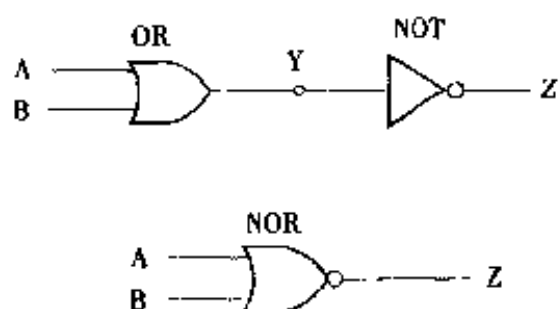
(b) NAND 门的动作表

图 3.12 NAND 门的组成和动作表

起来立刻就能理解。

### 3.3.3 NOR 门电路的组成和动作

NOR 门如图 3.13 所示,由 OR 与 NOT 门连接而成。这与 NAND 门一样,将 OR 与 NOT 的连接端设为 Y 时,门的工作原理很容易理解。



(a) NOR 门的符号和组成

输入电压的电平		中间的电压电平	输出电压的电平
A	B	Y	Z
L	L	L	H
H	L	H	L
L	H	H	L
H	H	H	L

(b) NOR 门的动作表

图 3.13 NOR 门的组成和动作表

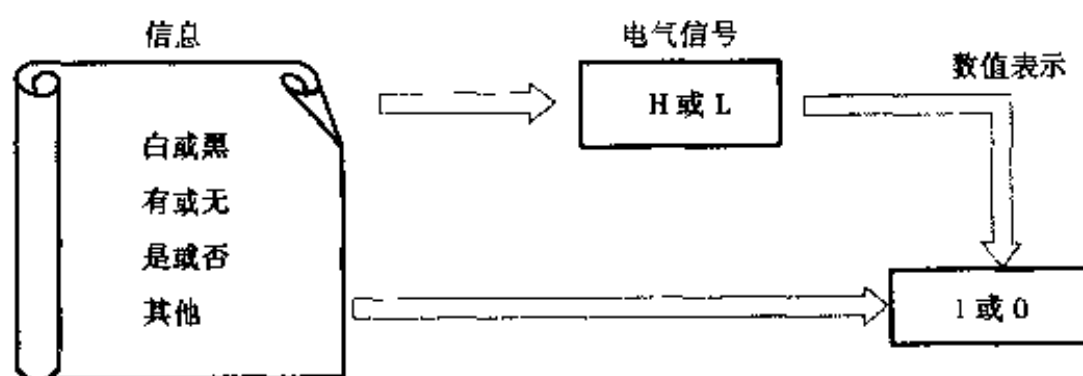


图 3.14 信息和信号的数值表示

动作表	真值表 (正逻辑)	真值表 (负逻辑)																																													
<table> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Z</th></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>H</td></tr> </table>	A	B	Z	L	L	L	L	H	L	H	L	L	H	H	H	<table> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Z</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	Z	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Z</th></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	Z	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0
A	B	Z																																													
L	L	L																																													
L	H	L																																													
H	L	L																																													
H	H	H																																													
A	B	Z																																													
0	0	0																																													
0	1	0																																													
1	0	0																																													
1	1	1																																													
A	B	Z																																													
1	1	1																																													
1	0	1																																													
0	1	1																																													
0	0	0																																													

(a) AND 门

动作表	真值表 (正逻辑)	真值表 (负逻辑)																																													
<table> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Z</th></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>H</td></tr> </table>	A	B	Z	L	L	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H	<table> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Z</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	Z	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Z</th></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	Z	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
A	B	Z																																													
L	L	L																																													
L	H	H																																													
H	L	H																																													
H	H	H																																													
A	B	Z																																													
0	0	0																																													
0	1	1																																													
1	0	1																																													
1	1	1																																													
A	B	Z																																													
1	1	1																																													
1	0	0																																													
0	1	0																																													
0	0	0																																													

(b) OR 门

动作表	真值表 (正逻辑)	真值表 (负逻辑)																																													
<table> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Z</th></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>L</td></tr> </table>	A	B	Z	L	L	H	L	H	H	H	L	H	H	H	L	<table> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Z</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	Z	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Z</th></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	Z	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
A	B	Z																																													
L	L	H																																													
L	H	H																																													
H	L	H																																													
H	H	L																																													
A	B	Z																																													
0	0	1																																													
0	1	1																																													
1	0	1																																													
1	1	0																																													
A	B	Z																																													
1	1	0																																													
1	0	0																																													
0	1	0																																													
0	0	1																																													

(c) NAND 门

动作表	真值表 (正逻辑)	真值表 (负逻辑)																																													
<table> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Z</th></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>L</td></tr> </table>	A	B	Z	L	L	H	L	H	L	H	L	L	H	H	L	<table> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Z</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	Z	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	<table> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Z</th></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	Z	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
A	B	Z																																													
L	L	H																																													
L	H	L																																													
H	L	L																																													
H	H	L																																													
A	B	Z																																													
0	0	1																																													
0	1	0																																													
1	0	0																																													
1	1	0																																													
A	B	Z																																													
1	1	0																																													
1	0	1																																													
0	1	1																																													
0	0	1																																													

(d) NOR 门

图 3.15 各种门电路的动作表和真值表

### 3.3.4 电压的高、低(H、L)电平和 1、0 的表示

已经说明过,在计算机等数字电子机器内,所有信息均可以变换成“2种电气信号”来表示。例如:“有或无”、“白与黑”的信息可变换成“H与L(高电平与低电平)”的电气信号。

这些信息(白或黑)和电气信号(H或L)均用“0和1”来表示,再用数字电路处理时,大多数情况下是很方便的。

用“H电平与L电平”表示的数字电路的工作,变换成用“1和0”表示,列出数值表称为真值表。设H为1,L为0来表示时,称为正逻辑真值表,相反,H为0,L为1来表示时,称为负逻辑真值表。(有关逻辑知识在第5章中学习)

图 3.15 中,表示了各种门的正逻辑真值表。

[问] ①写出下列表中 NOT 门的真值表。

②在图 3.15 中,有否相同的真值表?如果有请列出。

动作表		真值表(正)	真值表(负)
A	Z	A	Z
L	H		
H	L		

## 3.4 由门组成的门电路

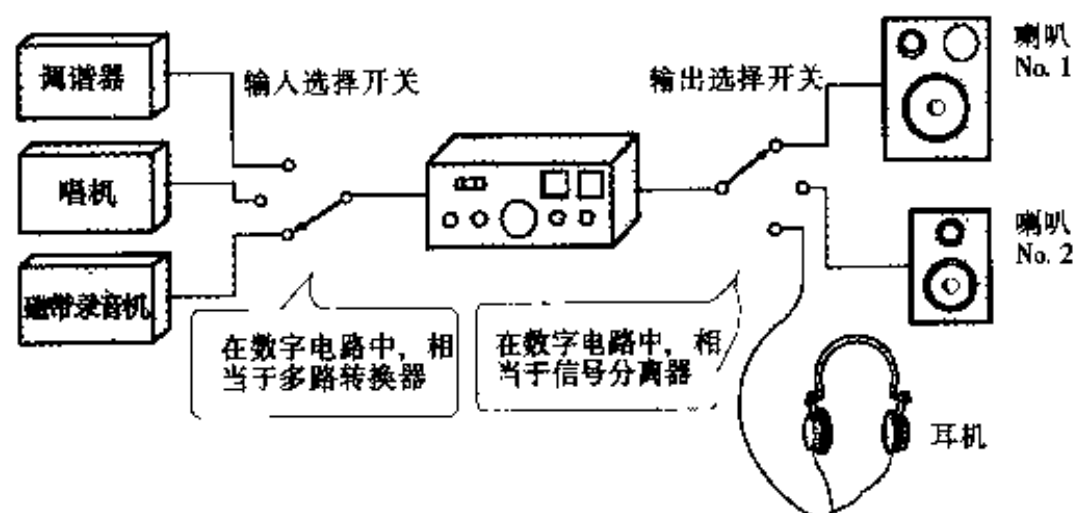


图 3.16 选择输入与输出的选择器

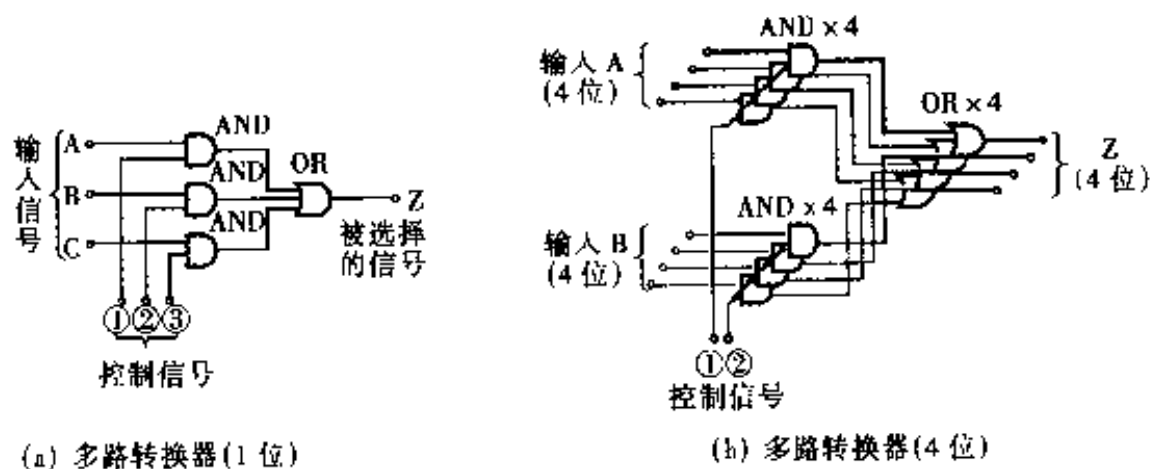


图 3.17 选择输入系统的电路

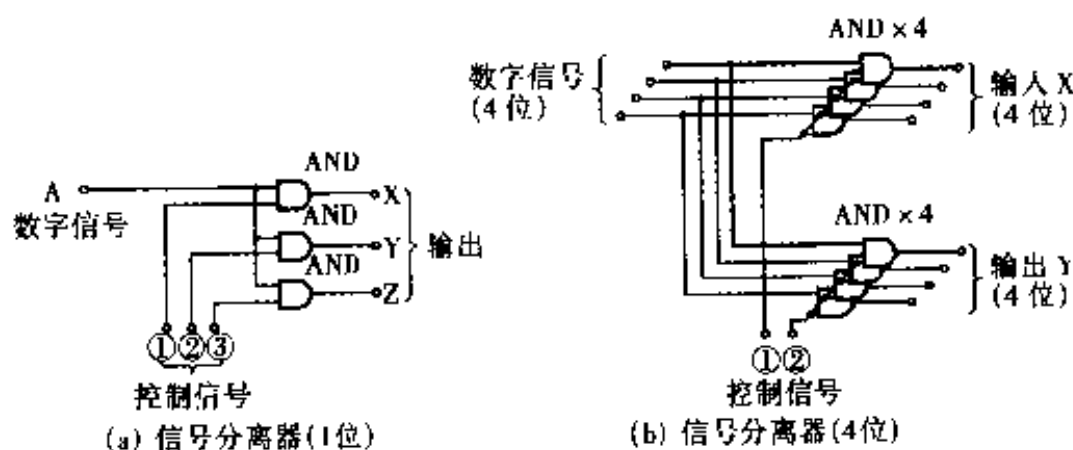


图 3.18 选择输出位置的电路

### 3.4.1 选择器的功能

图 3.16 是大家熟悉的音响装置。磁带、唱片或者调谐器的选择,用称为选择器的开关(旋转开关或按钮开关)来进行。同样,输出喇叭的选择也由选择器进行。

在数字电路中,选择输入系统时,利用称为**多路转换器**的门电路。同样,选择输出目标的是称为**信号分离器**的门电路。

### 3.4.2 多路转换器

图 3.17(a) 是数字电路中,选择输入 A、B、C 中的一个,再在门电路的 Z 处输出的**输入选择电路**。

电路的作用是控制端①为 H 电平,②和③是 L 电平时,选择输入 A 在 Z 处输出,而②为 H 电平①和③是 L 电平时,选择输入 B 在 Z 处输出。同样,③为 H,其他为 L 时, $Z = C$ 。

而在计算机等的数字电子机器的情况下,大多是以 4 位或 8 位为一组信息,进行**并行传输、处理**(也有 16 位)。因此,实际上使用的多路转换器如图 3.17(b)所示。这是将图 3.17(a)所示的 1 位的电路并联连接,这是可选择 4 位、2 系统输入的选择器的例子。

### 3.4.3 信号分离器

图 3.18(a) 是与多路转换器相反,将输出送到 X 还是 Y 或者 Z 上的**输出选择电路**,称为**信号分离器**。

电路的作用是控制端①为 H,②与③为 L 时,输出送至 X,②为 H,①与③为 L 时,输出出现在 Y,同样③为 H,则  $Z = A$ 。

实际上使用的电路与多路转换器相同,大多是 4 位或 8 位或 16 位并联后使用(如图 3.18(b))。



## 3.5 门集成电路的实例

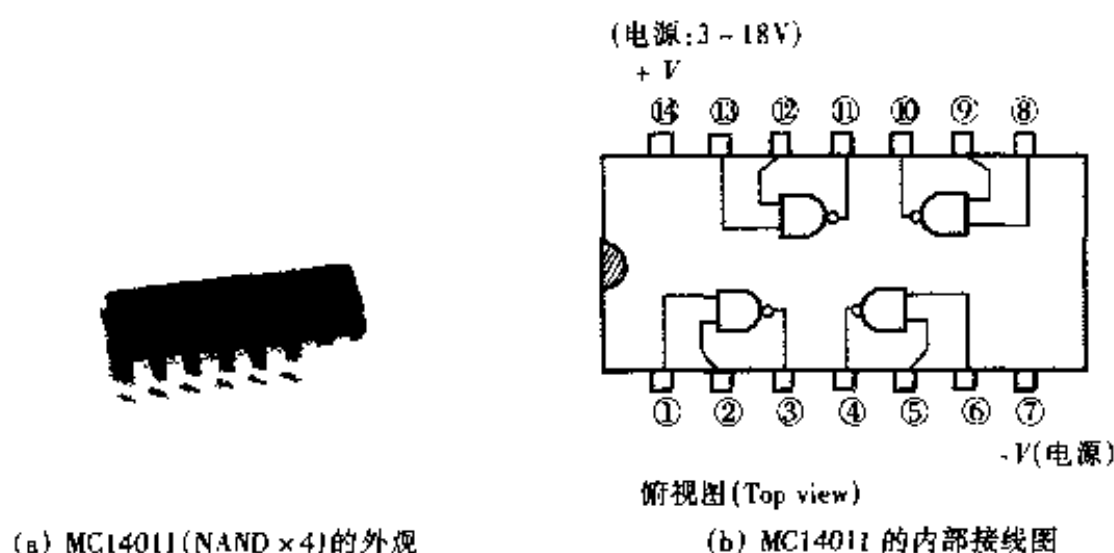


图 3.19 门集成电路的外观以及内部接线图的例子

表 3.1

分类	公司名	门的种类				
		NAND	NOR	AND	OR	NOT
TTL	T1	SN 7400	SN 7402	SN 7408	SN 7432	SN 7404
	日立	HD 7400	HD 7402	HD 7408	H 7432	HD 7404
	东芝	TD 3400	TD 3402	TD 3408	-	TD 3404
	日电	μPB 201	μPB 232	μPB 234	-	μBP 235
	富士通	MB 400	MB 417	-	-	MB 418
	三菱	M 53200	M 53202	M 53208	-	M 53204
CMOS	MOT	MC14011	MC 14001	MC 14081	MC 14071	MC 14049
	日立	HB 4011	HB 4001	HB 4081	-	HB 4049
	冲	MSM 4011	MSM 4001	MSM 4081	-	MSM 4049

注意: TTL 和 CMOS 由于电气的特性和连接端连接的方法不同, 没有互换性 (除特殊品种外)

### 3.5.1 门集成电路(逻辑 IC)

在数字计算器及电子钟表等数字电路中, 门电路用的非常多。但是, 晶体管与二极管组成的门电路的制造成本相当高, 而且不可能制成小型的。因而大多使用图 3.19 照片中所示的门集成电路 IC。在电子钟表中, 大多门电路与计算器电路等所有东西制作在一块芯片上, 做成高密度专用 IC。

在门集成电路 IC 中, 有以晶体管为中心制成门电路的 **TTL** 型和以 FET(场效应管)为中心制成门电路的 **CMOS** 型。

**TTL** 型, 其电源电压标准是 5V, 功耗为每个 IC  $50 \sim 100\text{mW}$ 。工作速度为  $10 \sim 20\text{ns}$  ( $10^{-9}\text{s}$ )。相反, **CMOS** 型的电源电压使用范围广, 在  $3 \sim 18\text{V}$  之间, 易于使用。功耗也非常小, 为  $0.01 \sim 0.1\text{mW}$ 。因此对于电源中使用电池的电路, CMOS 比较有利, 但是工作速度比 TTL 要慢, 约  $100\text{ns}$ 。

### 3.5.2 用 NAND 完成各种工作

门集成电路种类非常多, 其中 NAND 门电路与 NOR 门电路用途广泛。例如, 图 3.20 是将 NAND 门电路与 NOR 门电路作为 NOT 门电路使用的例子。因此, 如图 3.21 所示连接时, 可由 NAND 制成 AND, 由 NOR 制成 OR。也即只要有“NAND”和“NOR”, 5 种基本的门电路均可制成 (只有 NAND, 也可制成 5 种基本的门电路)。另外, 门集成电路也可像图 3.19 中所示的一样, 用一个模块组装进多个门电路, 组合成图 3.21 所示纵向连接电

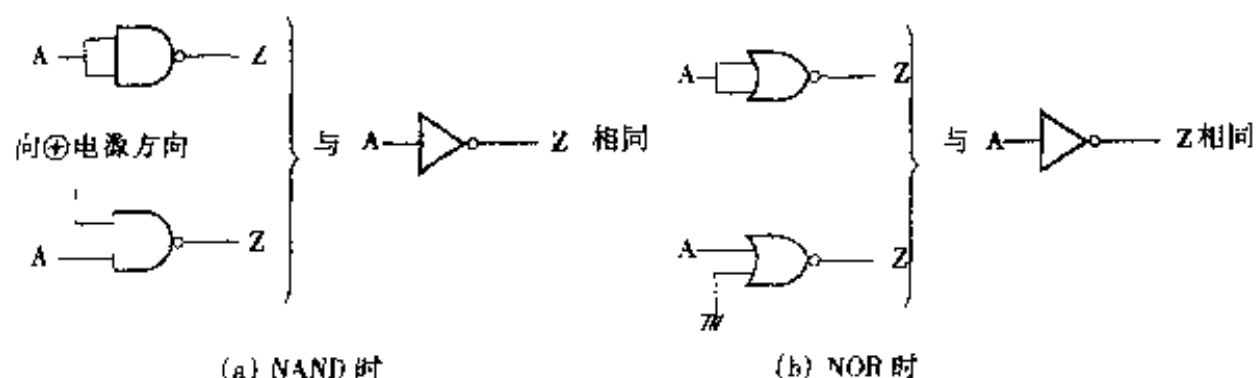


图 3.20 将 NAND 以及 NOR 门作为 NOT 门的使用方法

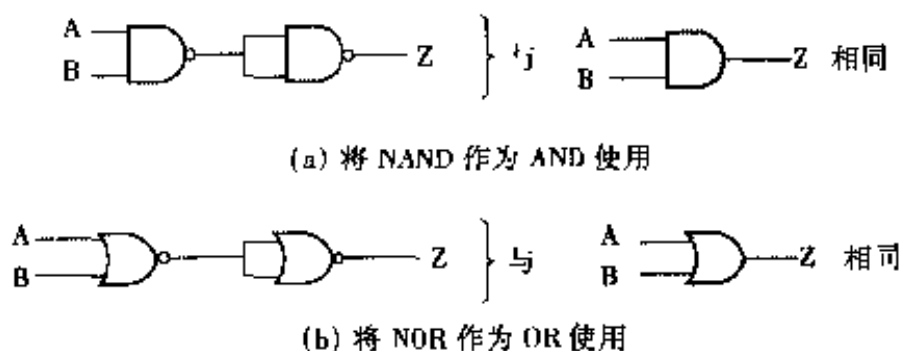


图 3.21 将 NAND 作为 AND, NOR 作为 OR 使用的方法

路时,非常方便。然而,如果纵向连接时,纵向传送时间、动作时间有延迟,时间变长,因此像计算机那样需要高速度工作的电路有可能不能使用这种电路。

### 3.5.3 这就是门集成电路

CMOS 型及 TTL 型的门集成电路中,代表性的内部连接法如图 3.22 及图 3.23 所示。

图 3.22(b) 中所示的“NOT”门集成电路的 MC14049, 在说明书中写着“**Inverter/Buffer**”。“Inverter”是反相的意思,也作为 NOT 电路的另一种称呼。而“Buffer”是缓冲器的意思,是指减少电路中“后边电路对前边电路的坏影响”而使用的电路。因此,MC14049 也可以称为不易受到输出端电路影响的 NOT 门电路。

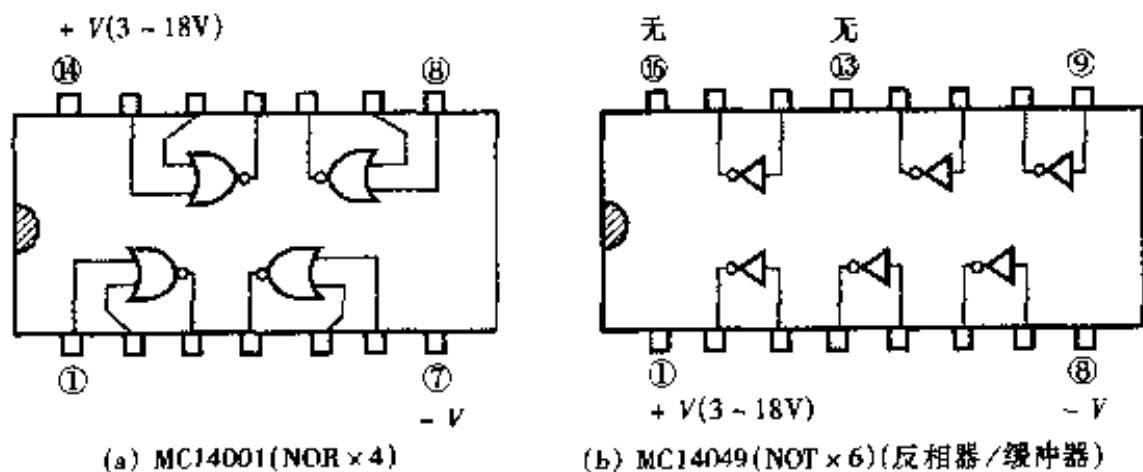


图 3.22 CMOS 型门集成电路的代表例子

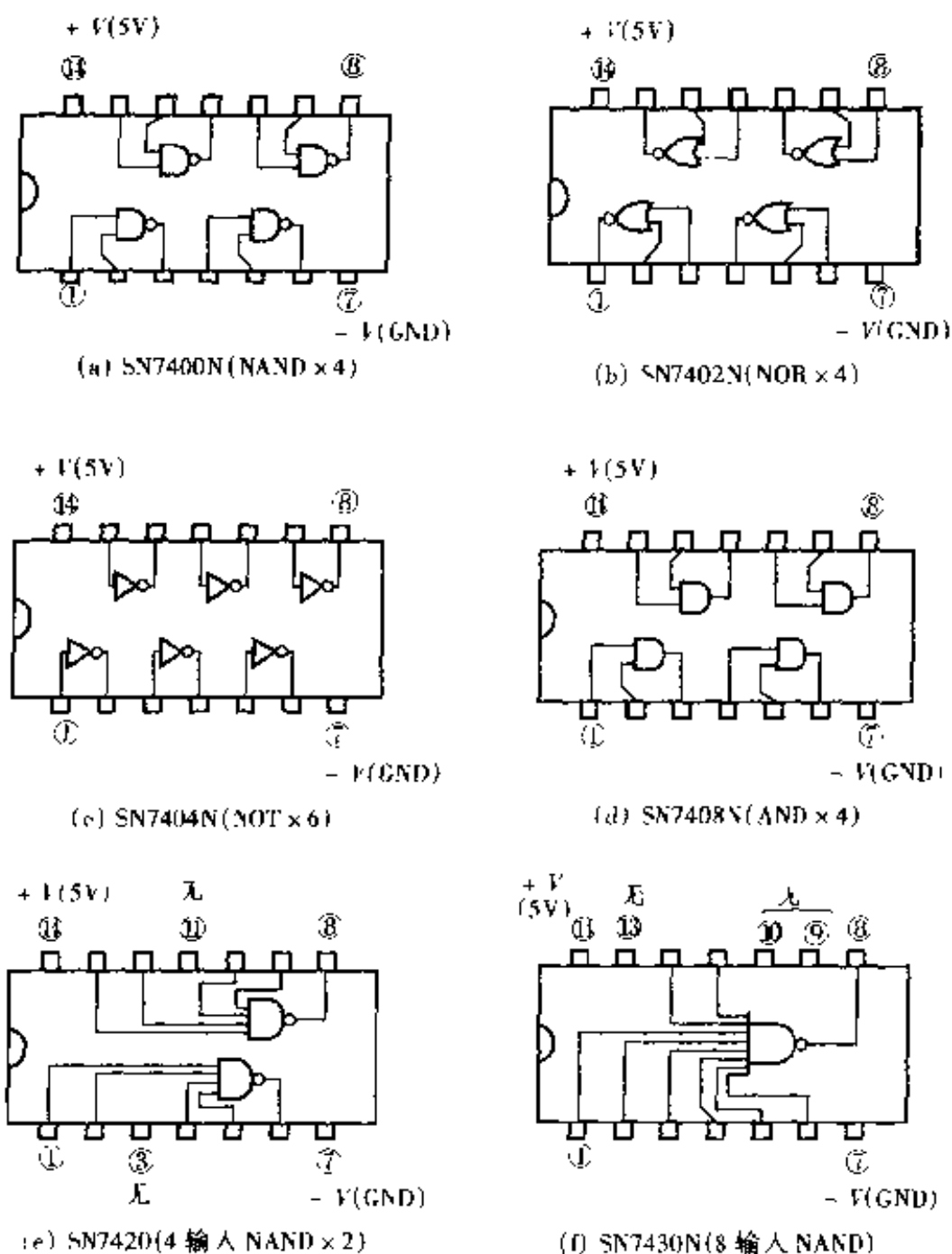


图 3.23 TTL 型门集成电路的代表例子

## 3.6 用门集成电路组成的多谐振荡器

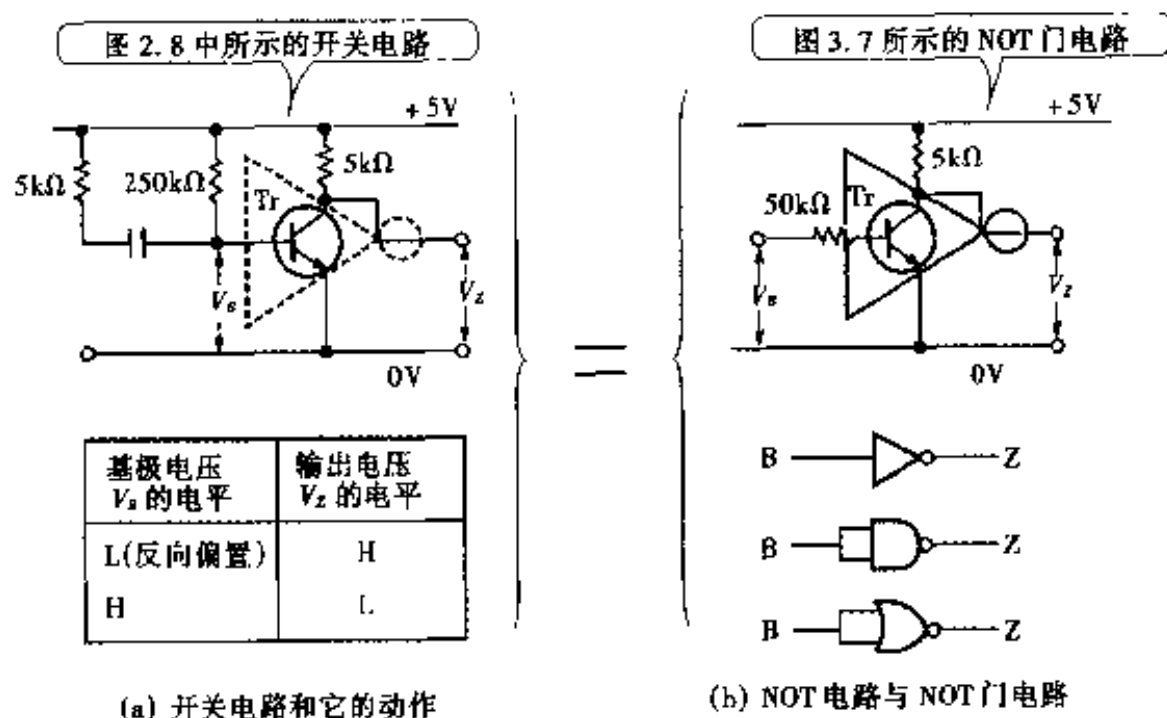


图 3.24 开关电路的动作与 NOT 门电路相同

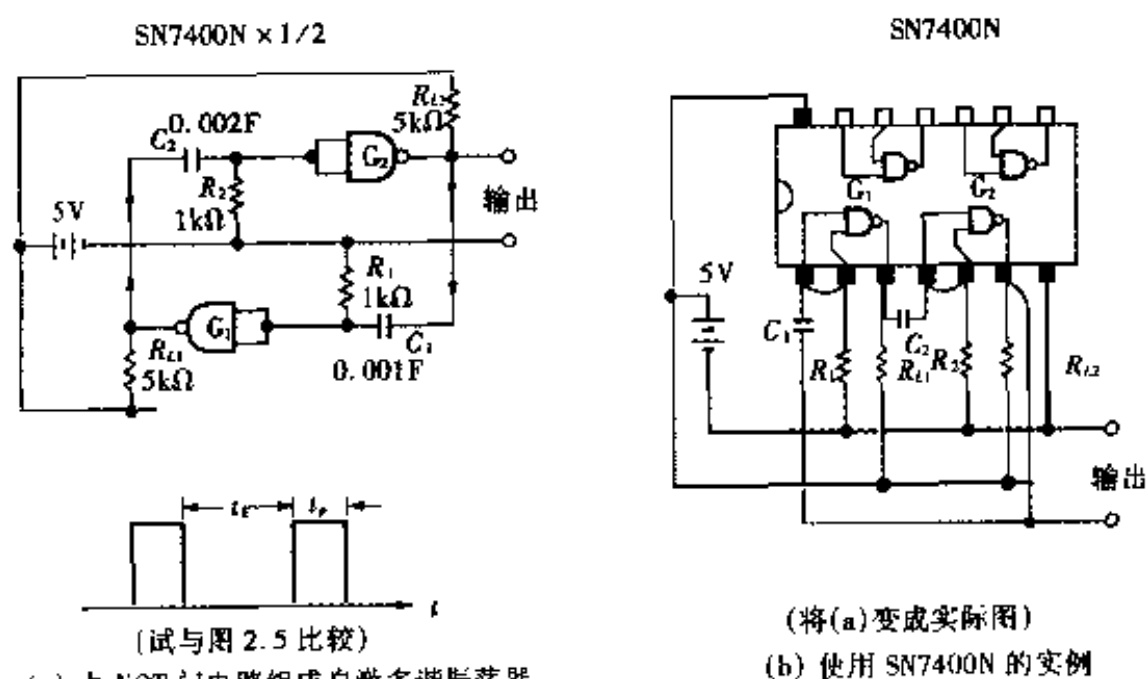


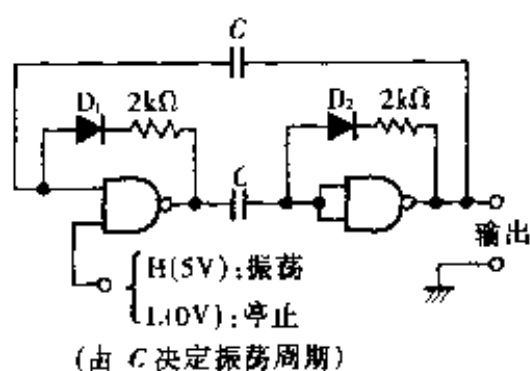
图 3.25 将 NAND 门电路作为 NOT 门电路使用的自激多谐振荡器的例子

## 3.6.1 用门集成电路组成的自激多谐振荡器

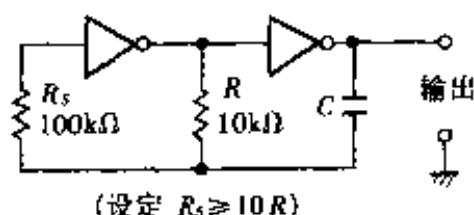
图 3.24(a) 所示的开关电路是在第 2 章中说明过的构成自激多谐振荡器的一部分。这个电路在基极电压  $V_B$  为“L 电平”时, 输出  $V_Z$  为“H 电平”, 相反  $V_B$  为“H”时, 输出  $V_Z$  为“L”。因此, 自激多谐振荡器的开关动作与“NOT 门电路的动作”相同。

由上述可清楚知道, 将 NOT 门电路与 CR 电路结合, 可以制成自激多谐振荡器。图 3.25 中所示自激多谐振荡器, 是在第 2 章的图 2.5 说明过的电路中, 将晶体管用 NOT 门电路替换即可。另外, CR 结合电路部分代之水晶振子时, 就可以得到有正确周期(频率)脉冲的输出(如图 3.26(c))。而且, 使用 NAND 代替 NOT 门电路, 将它装在图 3.26(a) 所示的控制端子上, 就能够控制振荡的开始与停止。

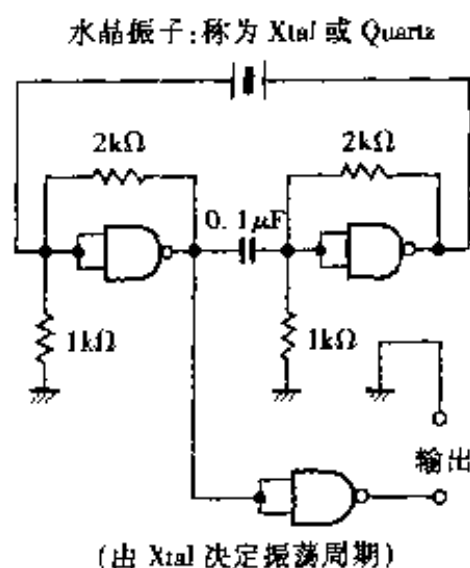
图 3.26 是由门电路组成自激多谐振荡器的代表性的电路例子。图 3.26(a)、(b) 中脉冲周期由 C 的容量决定。而图 3.26(a) 中的二极管  $D_1$  和  $D_2$  只要流动约 10mA 电流即可, 图 3.26(c) 中 Xtal 只要频率是比 10 MHz 低的零件, 就可以使用。



(a) 应用 SN7400N (TTL 的 NAND) 的电路



(b) 应用 MCI4007 (CMOS 的 NOT) 的电路



(c) 应用 SN7400N 和水晶振子的电路

图 3.26 由门集成电路组成自激多谐振荡器的电路例子

### 3.6.2 用门集成电路组成的触发器

用与前节所述的自激多谐振荡器相同的思路,也可以用门集成电路组成触发器(双稳态多谐振荡器)和单稳态多谐振荡器。图 3.27 是由 NAND 门电路组成 T 型触发器电路的例子,这也是第 4 章要学习的 1 位计数器电路的基本单元。另外用 NOT 门电路的组合可以制成触发器。

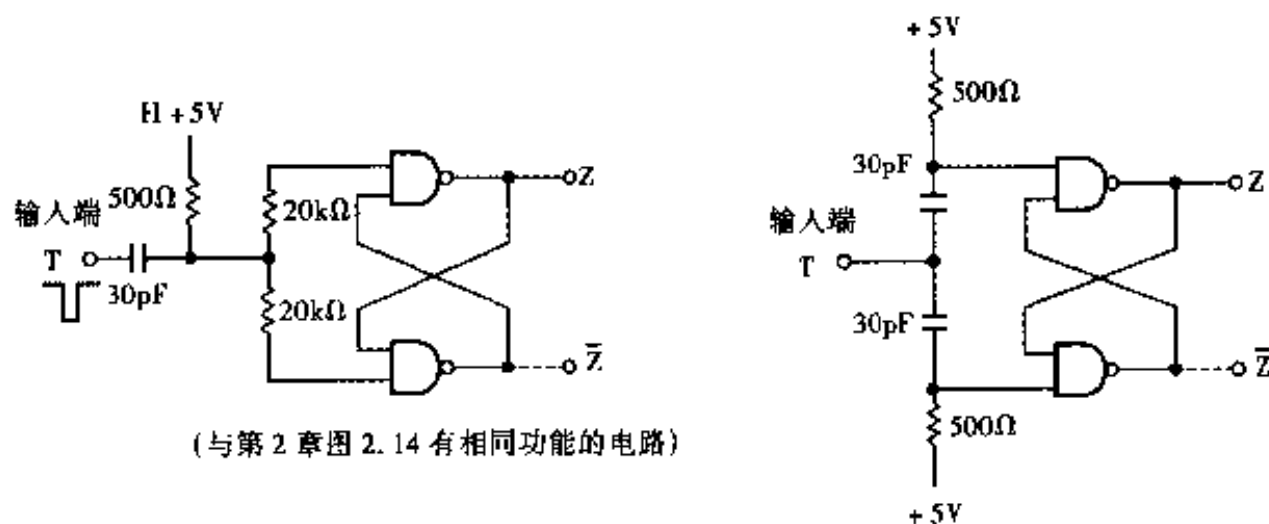


图 3.27 由 NAND 门电路(SN7400N)组成触发器的电路例子

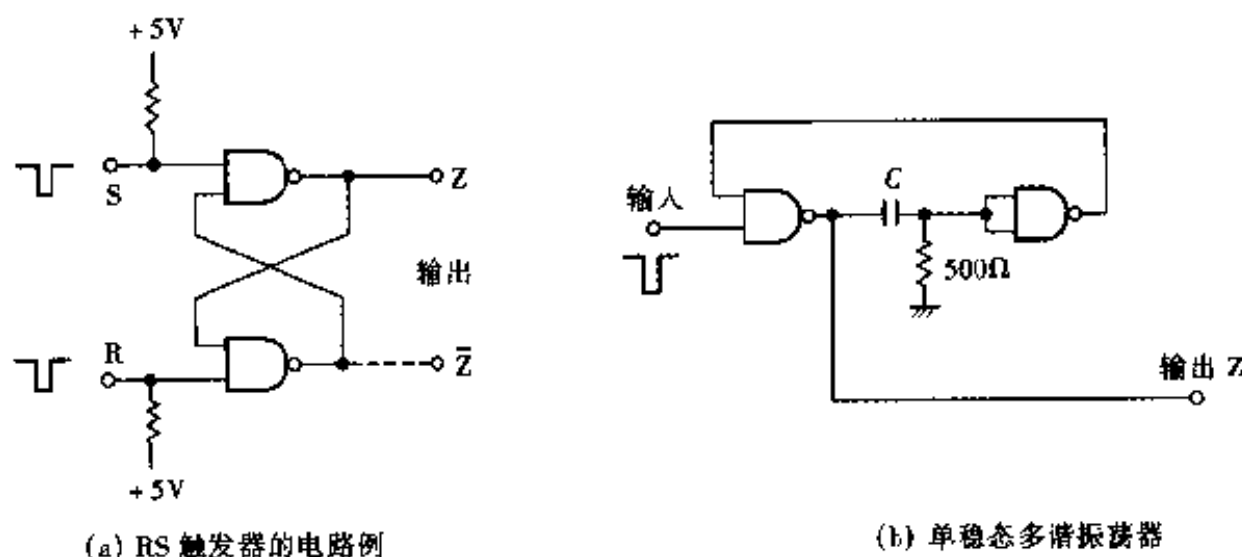


图 3.28 由 NAND 门电路组成 RS 触发器和单稳态多谐振荡器

图 3.28 所示为由 NAND 门电路组成的 RS 触发器与单稳态多谐振荡器。RS 触发器具有置零端 R 与置 1 端 S,可以构成存储元件或 1 位寄存器电路。RS 触发器的作用在第 4 章中学习。另外,RS 触发器因电路动作不确定,所以实际做成寄存器等电路

时,应用 **JK 触发器**。JK 触发器是 RS 触发器的改进电路。

### 3.6.3 混合使用 TTL 和 CMOS 的 IC 时

从一个门电路输出,送到多个门电路,表示可以接续最大的数值是输出端扇出数。一般 TTL 型可带动 10 个输出。而在 CMOS 与 TTL 的 IC 混用时,因为 CMOS 型 IC 的输出电流小,必须使用图 3.29(b) 中所示**缓冲器**。

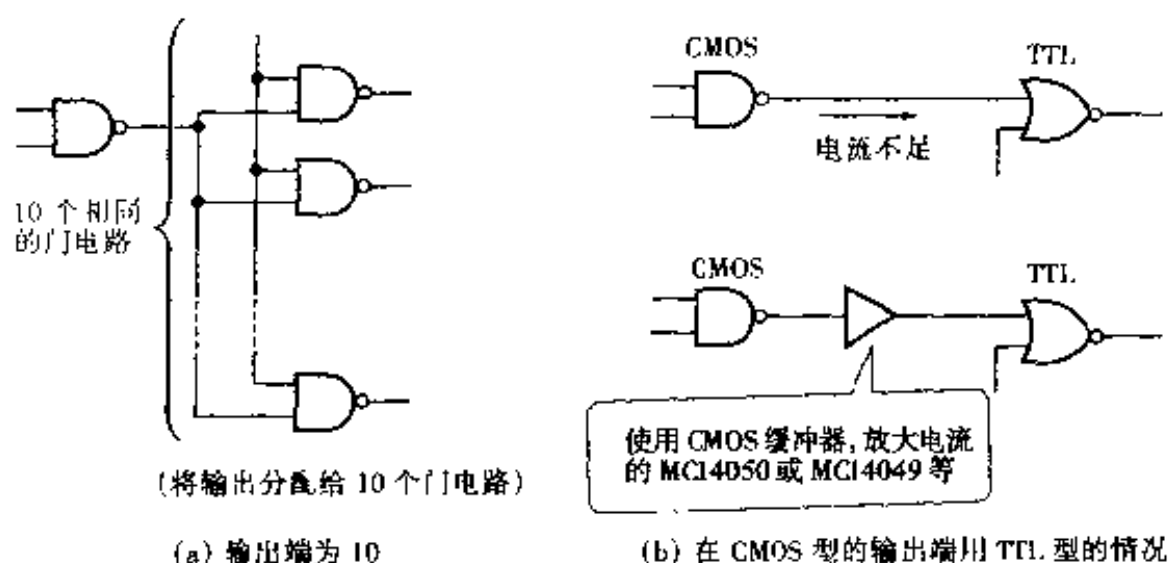


图 3.29 考虑到输出电流的门 IC



## 本章小结

### [1] 门电路小结

- 最基本的门电路为 AND、OR、NOT 三种。
- 通过 AND、OR、NOT 的组合可制成 NAND、NOR。
- 把握数字电路的工作状态,只要了解“白或黑”、“H 或 L”、“1 或 0”2 点即可。
- 对于 IC,用途最广泛的门电路是 NAND 与 NOR。
- 通过门电路组合,可以组成像多路转换器等多种复杂电路。
- 通过门电路组合,可以组成多谐振荡器。
- 门集成电路中有 CMOS 型和 TTL 型。

### [2] 用门电路组成警报器

用门集成电路组成振荡周期不同的两组自激多谐振荡器。再混合这两组的输出,可以产生声音很好听的警报声。

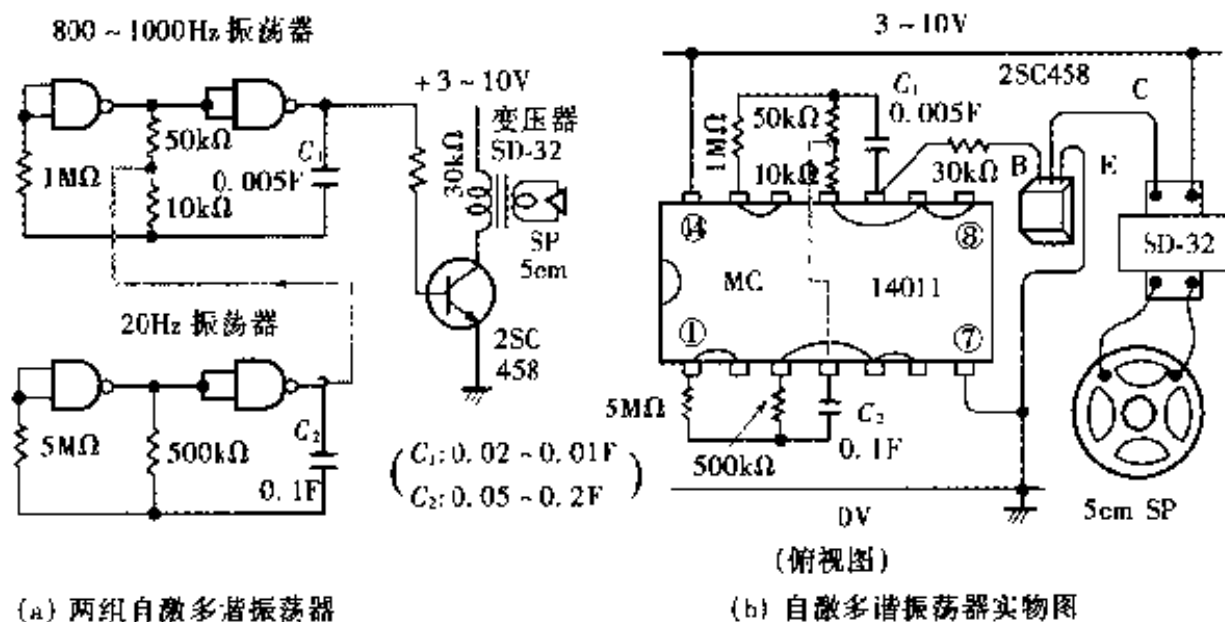


图 3.30 由 CMOS 型门集成电路组成警报器

# IV

## 计“数”的电路 (计数器电路)

---

从根本上支撑着文明社会日常活动的钟表,是计数的机械装置。

这样重要的“计数工作”不靠人工而正确进行的有电子方法。

计数器是用电子计数的一个电路。在电子钟表、计算机及其他电子机器中,相当多地,相当广泛地被使用。

计数器电路是以已经叙述过的触发器(双稳态多谐振荡器)电路和门电路为基础的。

本章介绍计数器电路的构成与工作原理。  
介绍 2 进制与 10 进制。

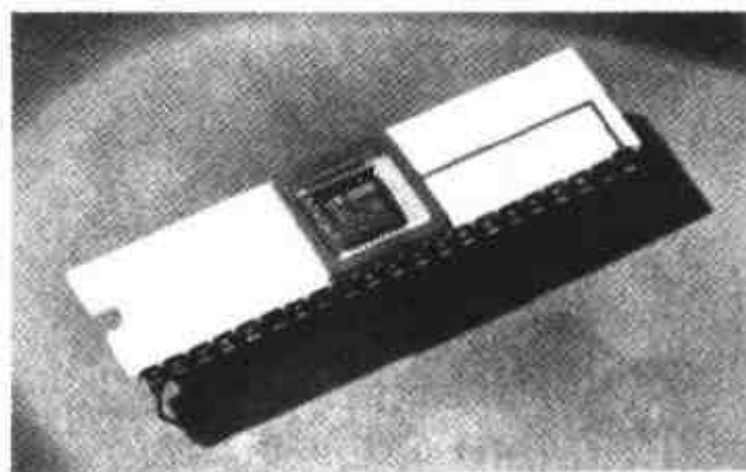


图 4.3 钟表用 IC

### 4.1.1 计数器只有齿轮与刻度

文明社会的日常活动,能想象成没有钟表吗?

钟表可以说是利用以正确周期摆动的钟摆往复次数,通过齿轮,让指针转动,再指示出刻度(时间)的一个计数器(计数的工具)。钟摆的往复周期如果是1秒,往复60次为1分,3600次为1小时,43200次为12小时,按照这个数值,来设定齿轮传动比(如图4.1所示)。

这样,使用 $(1:60)$ 秒 $\times(1:60)$ 分 $\times(1:12)$ 时的齿轮的钟表,从大型立式座钟到手表,都是一样原理。在漫长的历史时间中,在世界范围内,与人们的日常生活密不可分。但是,1975年出现的电子数字式钟表,随着其后IC技术的进步,势如破竹般地得到普及。电子式钟表中相当于齿轮的部件是计数器电路。其基本单元为触发器(双稳态多谐振荡器)。1个触发器相当于1:2齿轮1对,要得到 $60\times60\times12$ 之比时,就要用到18个触发器(后述)。因此,现在的石英手表里,在 $5\text{mm}\times5\text{mm}$ 的IC中,装入有30~40个触发器及显示电路等所有零件。

### 4.1.2 看不到车窗外风景的旅行

如果,大家进入了没有窗口的车厢中,看不到外面,只能一边听一些嘴上说的“外景”,一边旅行时,一定会感到没有意思吧!

在第2章及第3章中学习多谐振荡器与门电路时,大概就是与“没有窗口的列车旅行”一样,很难明确学习目的,不易理解(如图4.4)。因而,在本章中,稍微开一下列车的车窗,一定想看看外

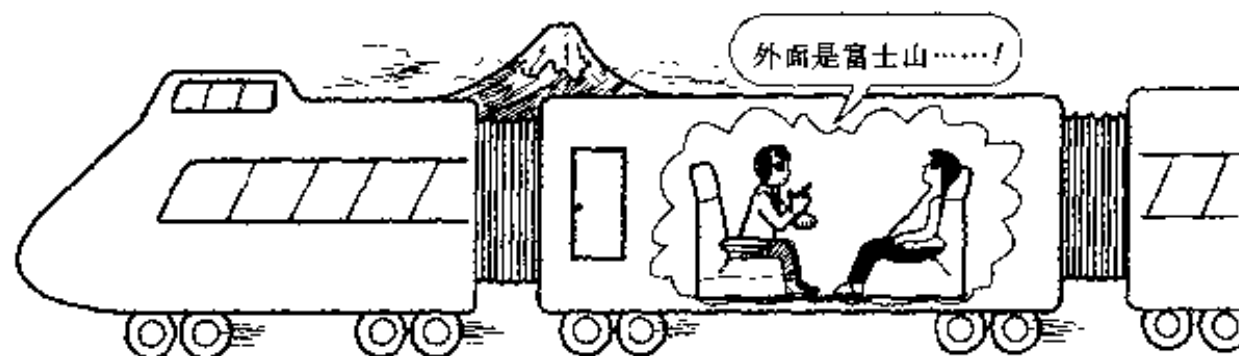


图 4.4 在没有窗口的列车上旅行时,很无聊……

部风景吧! 第2章、第3章学习的内容在本章就可以看到它的用处了。

石英钟表中是没有钟摆的。但是,作为它的替代物,是将水晶(Quartz)振子装入自激多谐振荡器,得到的振荡信号作为时基。水晶振子相当于钟表的摆锤,是得到精确同步振动的一个手段。振荡的频率(相当于钟摆的振动速度)非常高,例如 32768Hz。将此输入到 T 型触发器,进行  $1/2$  分频,输出的频率为 16384Hz。将这再一次输入 T 型触发器,再次  $1/2$  分频……,15 次后频率为 1Hz,也即每 1 秒,输出 1 个脉冲,这与 1 秒钟,往复 1 次的摆锤相同了。

而且,这个输出再次分频  $1/60 \times 1/60 \times 1/12$ ,分频电路是由触发器与门电路组成。进行这个分频的电路是计数器电路,相当

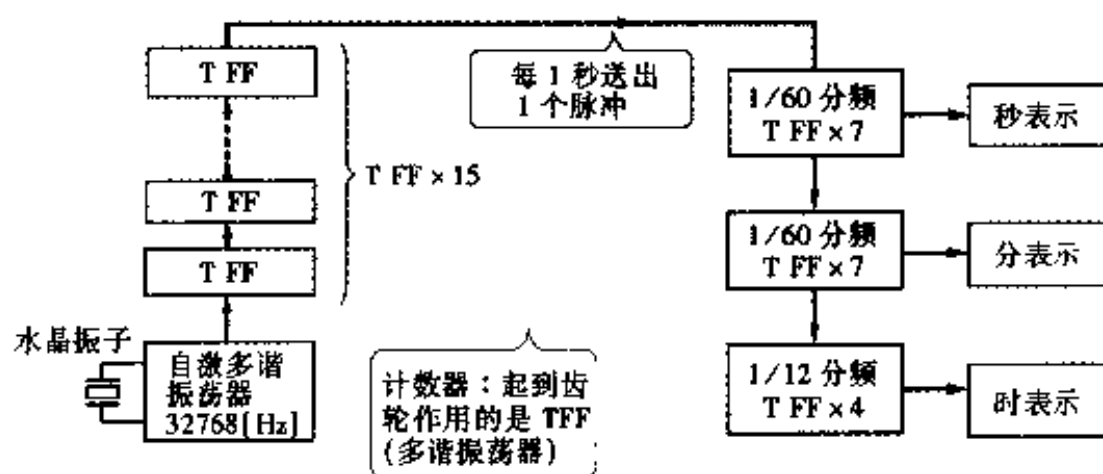


图 4.5 石英式电子钟表的构成

于钟摆钟表的齿轮(如图 4.5)。

### 4.1.3 T 型触发器

想大概了解计数器的人,只要理解“1 个 T 型触发器可起 1 对 1:2 减速齿轮的作用”就可以。初学者没有必要深入了解 T 型触发器电路详细动作。

第 2 章图 2.15 中说明过的双稳态多谐振荡器,其输入端形状为 T 型,又称 T 型触发器,在这个 T 型触发器电路中,再加进二极管  $D_3$ ,成为有置零端 R 的电路,如图 4.6(a)所示。

置零端 R 接 H 电平(电源电压)时,晶体管  $T_{R2}$  无论是 ON 或

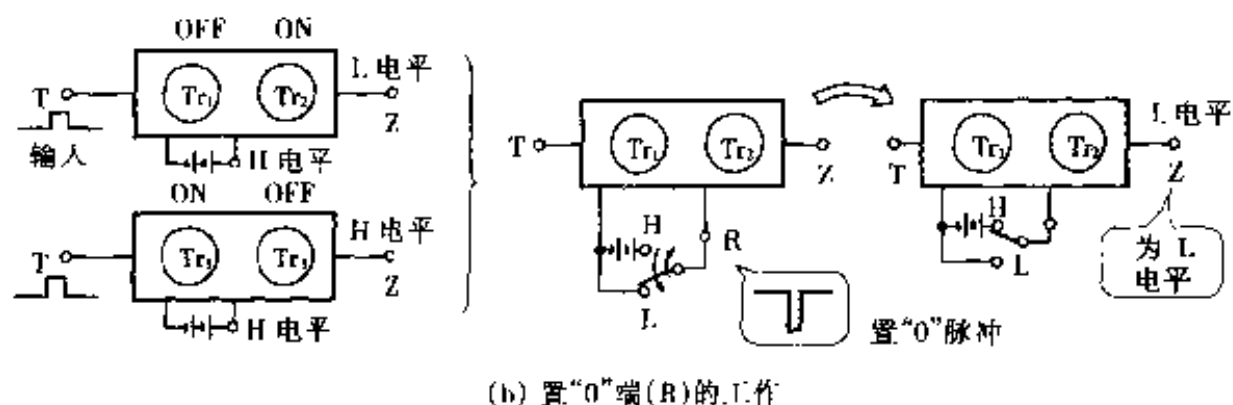
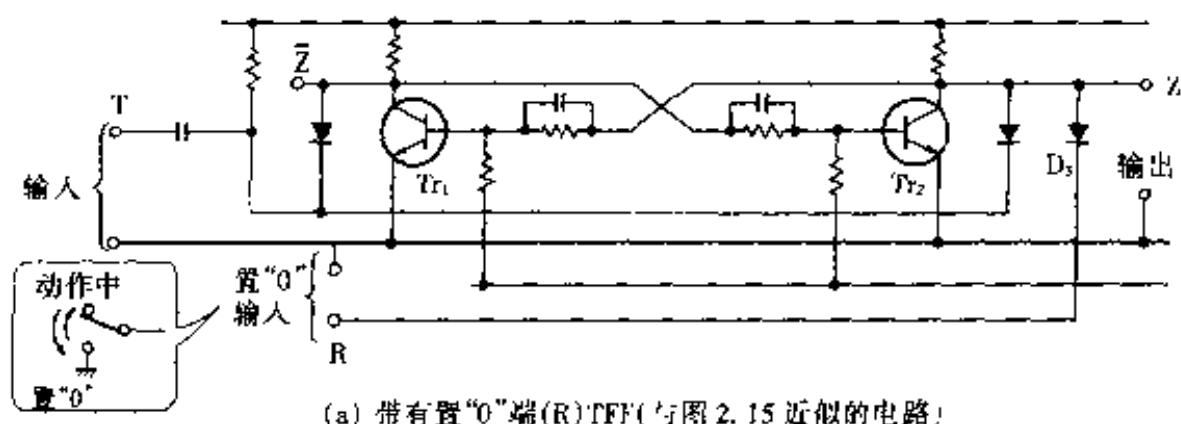


图 4.6 带有置“0”端(R)的 T 触发器

OFF 哪一种情况,  $D_3$  是 **OFF**, 因此对电路没有丝毫影响。

因此, 使这个 T 型触发器工作时, 如图 4.6(b) 所示, 将 R 端接 H 电平。而要将 T 型触发器的输出变为 L 电平时, 只要 R 端在一瞬间“变为 L 电平”或者加上负脉冲即可。

R 端为 L 电平时,  $Tr_2$  为 OFF 情况下, 集电极电压是 H, 因而二极管  $D_3$  为 ON, 使  $Tr_2$  的旁路电路短路。其结果为  $Tr_2$  的集电极电压降为 L 电平。因此, 这个影响传给了  $Tr_1$ , 接着如同第 2 章中双稳态多谐振荡器的工作说明一样, 经过一个过程,  $Tr_1$  稳定于 OFF,  $Tr_2$  稳定于 ON。而且,  $Tr_2$  的集电极电压及输出 Z 的电压从 H 电平转换成 L 电平。

$Tr_2$  为 ON 时, 集电极电压(输出电压)为 L 电平, 因此, 即使 R 端降为 L 电平, 二极管  $D_3$  仍维持 OFF, 对电路没有任何影响。

#### 4.1.4 用 NAND 门组成带有 R 端子的 T 型触发器

图 4.7 是 NAND 门电路组合而成的 T 型触发器, 这个电路的电源开关 SW 为 ON 时, 输出 Z 与输出  $\bar{Z}$  中哪一个为 H 电平, 无法

判别。即电源开关 SW 接通时,可能是图 4.7(a)或图 4.7(b)中的某一个状态,其后,这个状态一直保持下去。

这里,令 R 端在一瞬间变为 L 电平时,图 4.7(b)的情况没有变化。但是,图 4.7(a)的情况下,#2 门电路的输入,不再“全部是

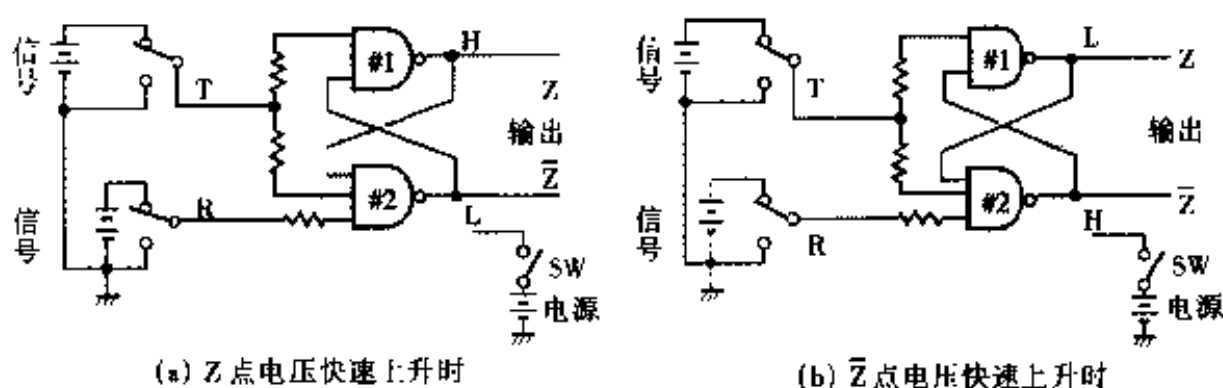


图 4.7 由 NAND 门组成的 T 触发器

H”的状态,因此,输出  $\bar{Z}$  从“L”变为“H”。这样,#1 门电路的输入变为“全部是 H”,输出 Z 从“H”变为“L”,成为图 4.7(b)的状态,以后,这个状态就一直保持下去。

这个 R 端的动作是为了使输出 Z 为 L,输出  $\bar{Z}$  为 H 的端子,与图 4.6 情况一样,称为置零端。

接着,令 T 端在一瞬间变为“L”。当电路处于图 4.7(a)的状态时,就会变为图 4.7(b)的状态。而当电路处于图 4.7(b)的状态时,就会变为图 4.7(a)的状态。让 T 端重复多次为“L”时,Z 与  $\bar{Z}$  的电压电平的状态也交叉地为“L”与“H”。作出它们的随时间变化的图形,如图 4.8 的时间流程图。

#### 4.1.5 电子齿轮均为 1:2

T 型触发器可以用已经说明过的晶体管组成的电路与门电路来制成。而其他触发器的 IC,和将 3~4 个触发器组成的计数器用的 IC 等,在市场上均可以买到。

无论如何,“一个触发器可起一对 1:2 减速齿轮的作用”。

另外,如图 4.6 和图 4.7 所示的 T 型触发器,在 T 端的输入从 H→L 时,输出电平变化,这种型号称为下降沿触发型。

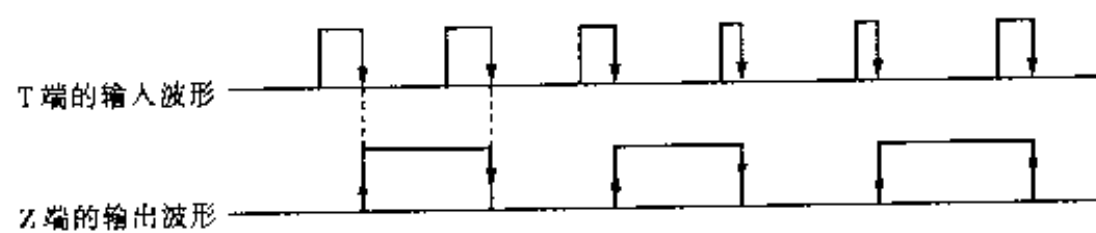


图 4.8 下降沿触发的 T 型触发器



4.2

单一的计数器能做什么

(2 进制计数器与 2 进制数)

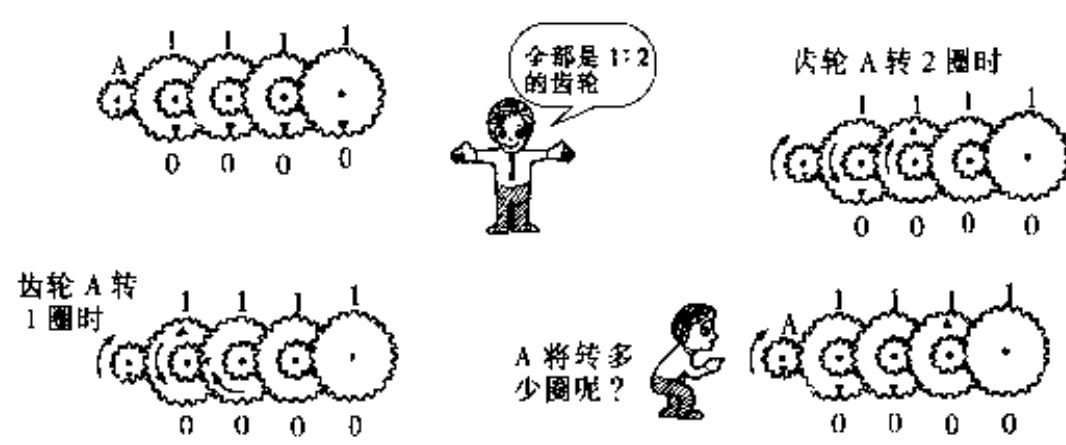


图 4.9 由齿轮组成 2 进制 4 位计数器

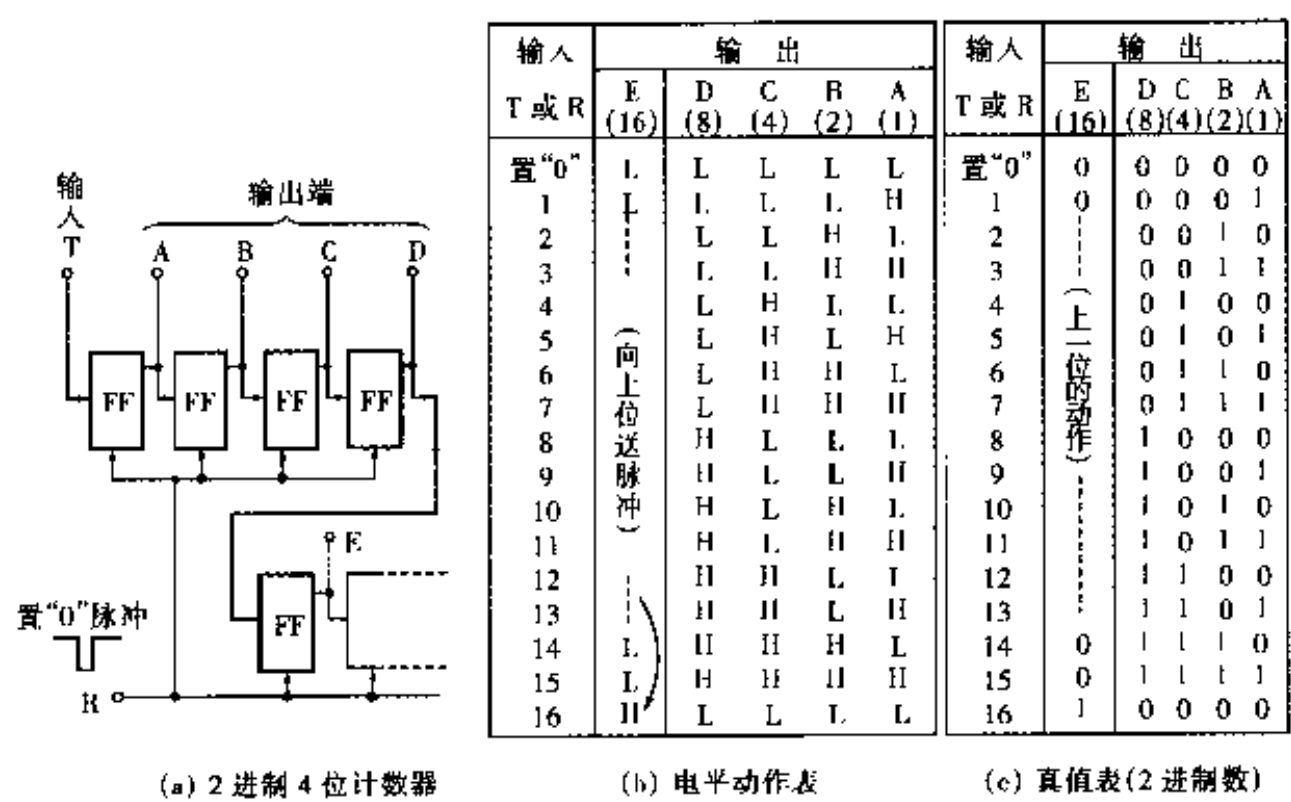


图 4.10 2 进制 4 位计数器的动作表

## 4.2.1 2 进制 4 位计数器

图 4.11 是已经说明过的 T 型触发器作用的示意图。以输入端 T 的输入脉冲数的  $1/2$  在输出端 Z 处出现。在置零端 R 处输入负脉冲时。无论在什么情况下,输出端 Z 为零,即为 L。1 个 T 型触发器相当于 1:2 的减速齿轮 1 对,相当于 2 进制计数器的 1 位。

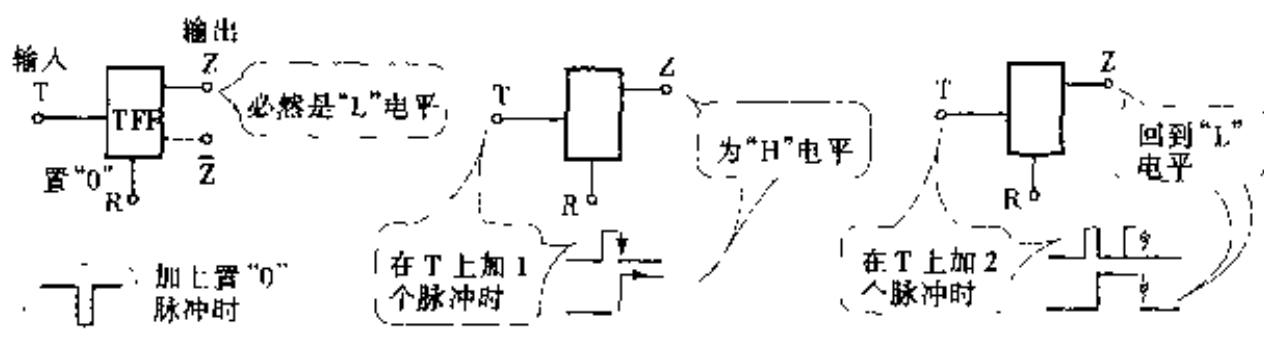


图 4.11 2 进制计数器每 1 位的基本动作

另外,在触发器中,有取正逻辑输出的 Z 端和取负逻辑输出的  $\bar{Z}$ , Z 与  $\bar{Z}$  永远是一对相反的高、低电平。

这里,无视  $\bar{Z}$ ,只着眼于 Z 进行论述。

现在,将 4 个 T 型触发器串联,制成 2 进制 4 位计数器,来看一下它的工作(如图 4.12)。

首先,在图 4.12(a)中,置零端 R 输入负脉冲,各位的计数器(T 型触发器),不管原先处于何种状态,4 个计数器的所有输出均设置为零。

这时,在第一级的 T 型触发器的 T 端输入脉冲,则输入的脉冲数和计数器各位的输出(A、B、C、D)电压电平,有如图 4.12(b)所示的关系。这与图 4.9 所示的齿轮计数器相同,是相当单纯的工作。但是,以这个 2 进制 4 位计数器为基础作成的电路相当多,希望学习者在这节中,对计数器的工作全面深入的理解、掌握。

另外,图 4.12 所示的计数器的动作作成电平动作表见图 4.10(b),以此写成正逻辑真值表见图 4.10(c)。图 4.10(c)的输出栏是 2 进制数,希望能加以注意。

这个表也说明了在 T 端输入 16 个脉冲,则从 D 输出端向上一位(E)输出 1 个脉冲,之后,A~D 的输出端的电压均成为 L 电平。

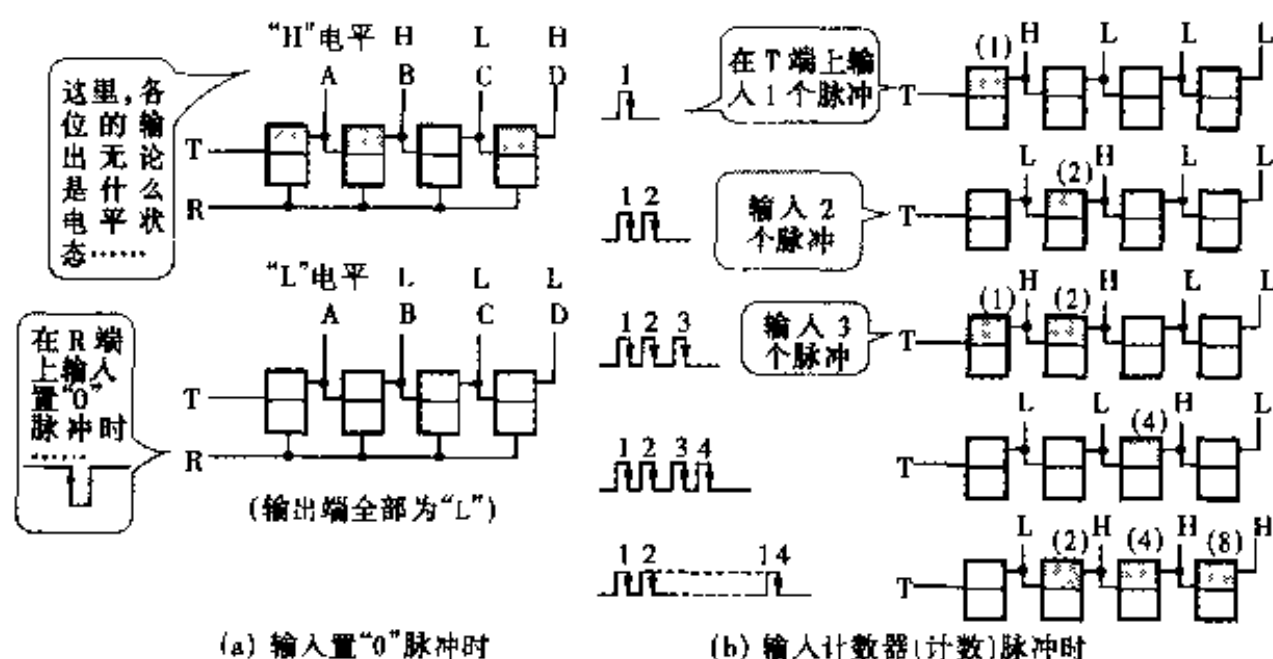


图 4.12 2 进制 4 位计数器的动作

#### 4.2.2 电平动作表和时间流程图

图 4.13 表示了 2 进制 4 位计数器的 T 端, 不断输入脉冲时, 计数器各位的电压电平随着时间变化而变化的情况。图 4.10 的动作表是表示相对于静止状态, 图 4.13 是同一计数器的电路动作的动态显示。

根据时间流程图, 在 T 端第 16 个脉冲输入结束瞬间, A ~ D 的 4 位“所有输出都变成 0 即 H→L”, 这时上一位 (E 位) 为 H 电平。必须要注意到 4 位同时能清零的瞬间, 上位的变化这一点。

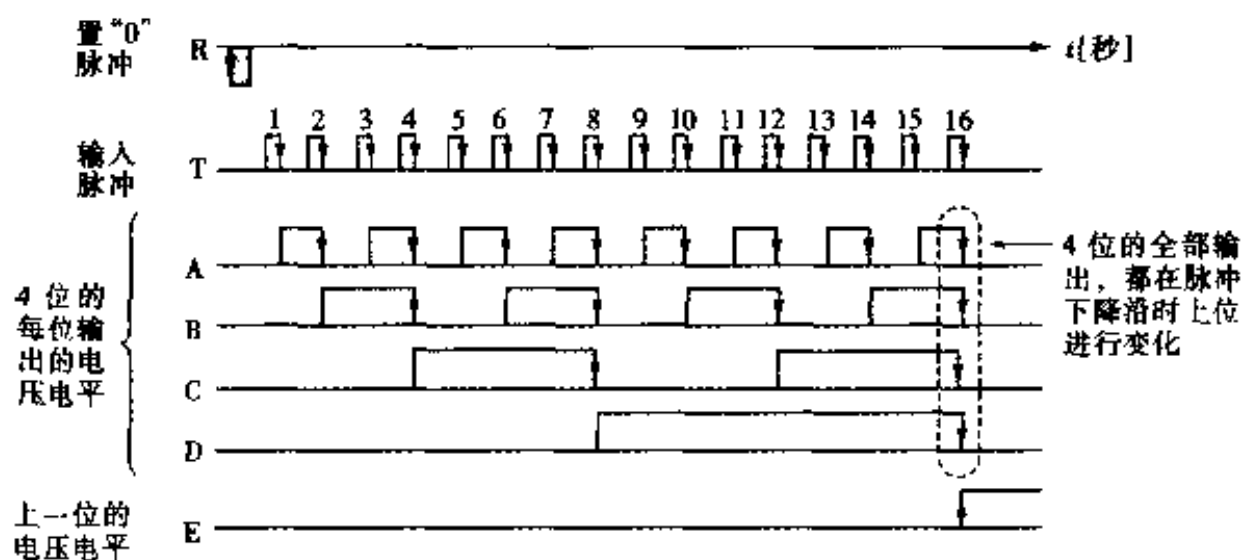



图 4.13 2 进制 4 位计数器的时间流程图

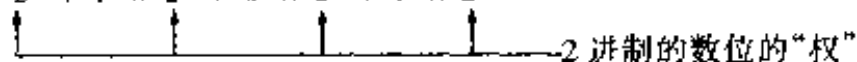
## 4.2.3 2 进制数与 10 进制数的比较

我们日常用惯的是 10 进制数,使用 0~9 这 10 个数,每一位按权展开。例如“2705”这个数写作

$$\begin{aligned}
 2705 &\longrightarrow 2 \times 1000 + 7 \times 100 + 0 \times 10 + 5 \times 1 \\
 &= 2 \times 10^3 + 7 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 5 \times 10^0
 \end{aligned}$$


当然这个数不用写得如上这么复杂,大家也很清楚。

在 2 进制数中,与 10 进制数的思路一样,应用 0 和 1 这 2 个数字,每一位按权展开如下,例如“1101”为

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


←——— 这是将 2 进制数变成 10 进制数的数值

表示 2 进制的数 1101 是 10 进制的 13。用图 4.10 再一次考察 2 进制与 10 进制的关系就清楚了。

## 4.3 $N$ 进制的计数器

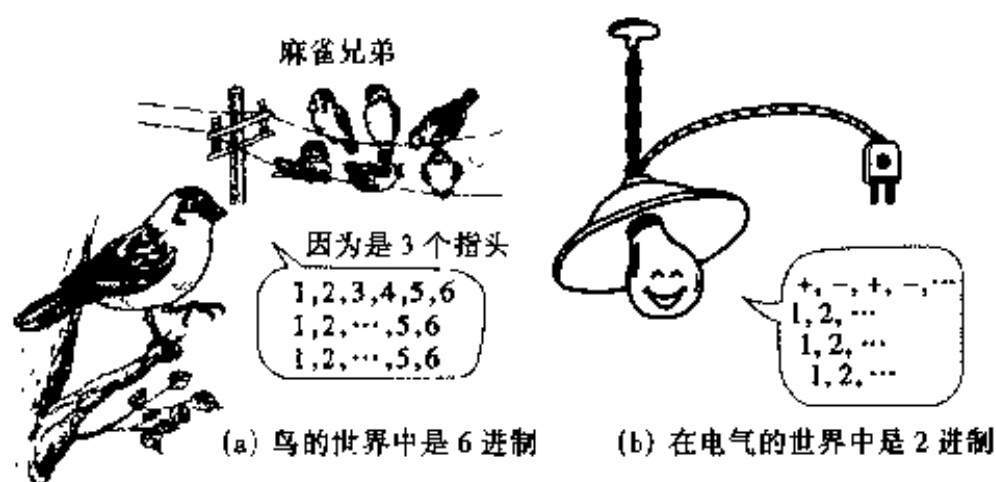
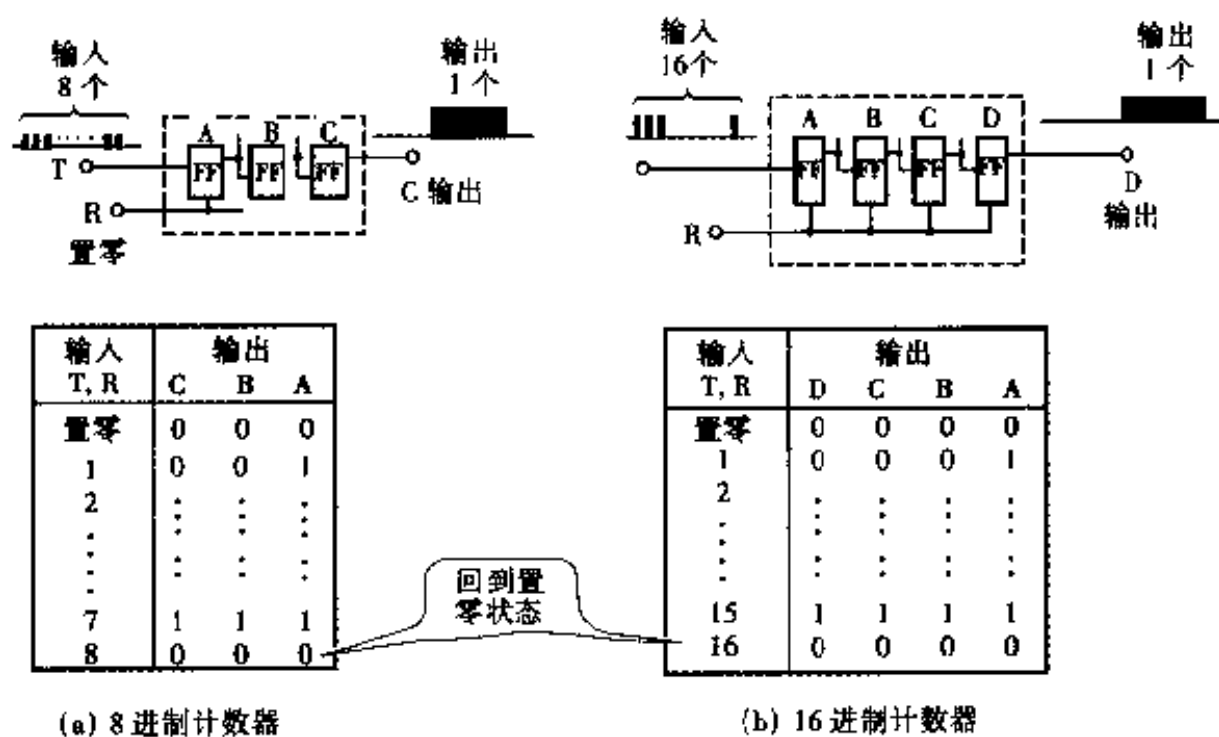


图 4.14 基准不同的数的世界



(是从图 4.10 的真值表中取出一部分内容)

图 4.15 3 级触发器和 4 级触发器的计数器

#### 4.3.1 在鸟的世界中,大概使用 6 进制吧!

在日常生活中计数时,不用说,使用的是 10 进制。这是因为在很久以前,人们的计数是用扳手指头计数,而人的手指一共是 10 个,因此在生活中形成了 10 进制计数。

如果,鸟类智商发达,也进行计数时,那么鸟类的生活中,将形成 6 进制计数方法(如图 4.14(a))。

同样的原因,电气的世界中,使用“+”与“-”的 2 进制是很合适的。2 进制与 10 进制的差别,以及它取位数的方法在上节中已经说明。

另外,在我们的生活中,如同钟表的时间刻度中所看到的,除了 10 进制方法以外,还使用 12 进制及 60 进制。

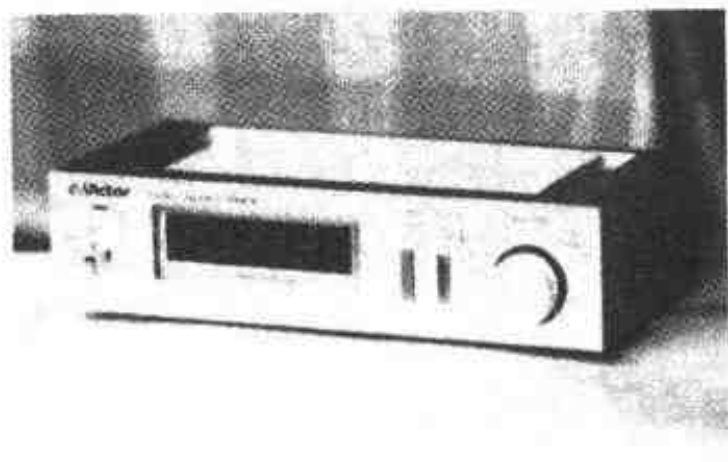


图 4.16 钟表是 12 进制和 60 进制

#### 4.3.2 10 进制计数器

在电气世界中适用 2 进制。计算 2 进制数时,与手指相当的部分是 T 型触发器,这已经说明过了。然而,在用 T 型触发器串行连接的计数器中,如图 4.15 所示,有 3 级触发器时,表示 0~7 的 8 个数字的 8 进制数,有 4 级触发器时,表示 0~15 的 16 进制数,而不能体现 10 进制数。

这里,再看一下真值表(如图 4.15 所示),就可以明白在 8 进制计数器中,有 8 个触发脉冲输入时,就回到了原来的置零状态。在 16 进制计数器中,有 16 个触发脉冲输入时,也回到置零状态。

因此,制作 10 进制计数器,只要制作出当有 10 个触发脉冲输入时,能够使计数器回到置零状态的电路就可以达到目的。

根据真值表,如图 4.17 所示,触发脉冲的输入为 10 个时,触发器的输出为“1010”,所以将这个信号加到门电路上,能够产生置零脉冲时,10 进制计数器就可制成。图 4.17(b)是 10 进制计数器电路,参考图 4.13 的时间流程图,再考虑电路的工作原理就可以理解了。

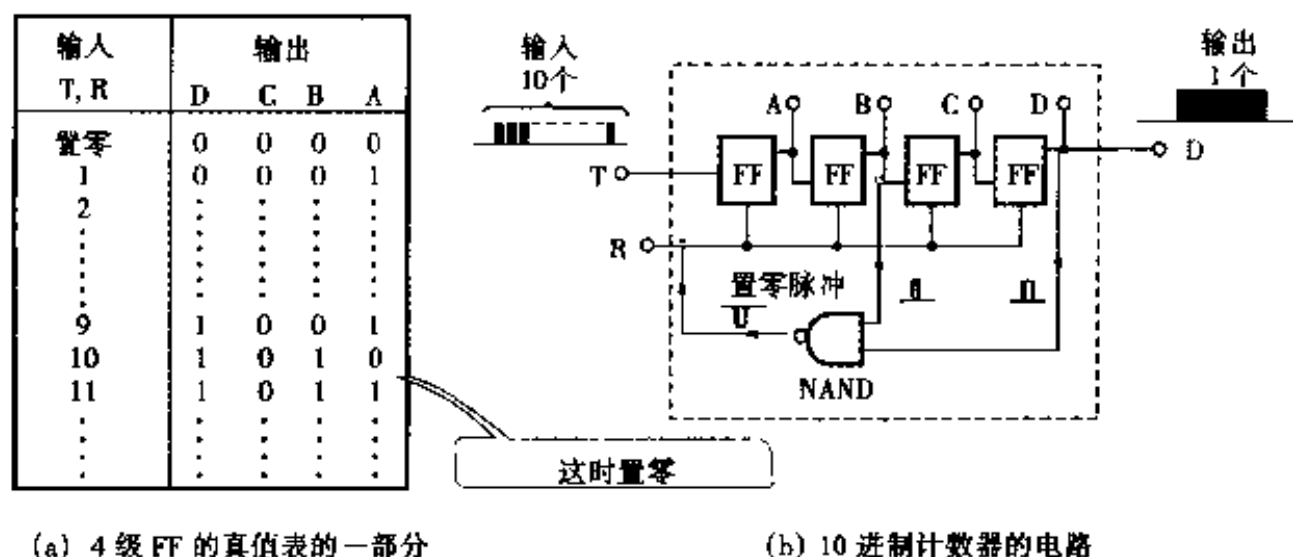


图 4.17 将 16 进制计数器改成 10 进制计数器

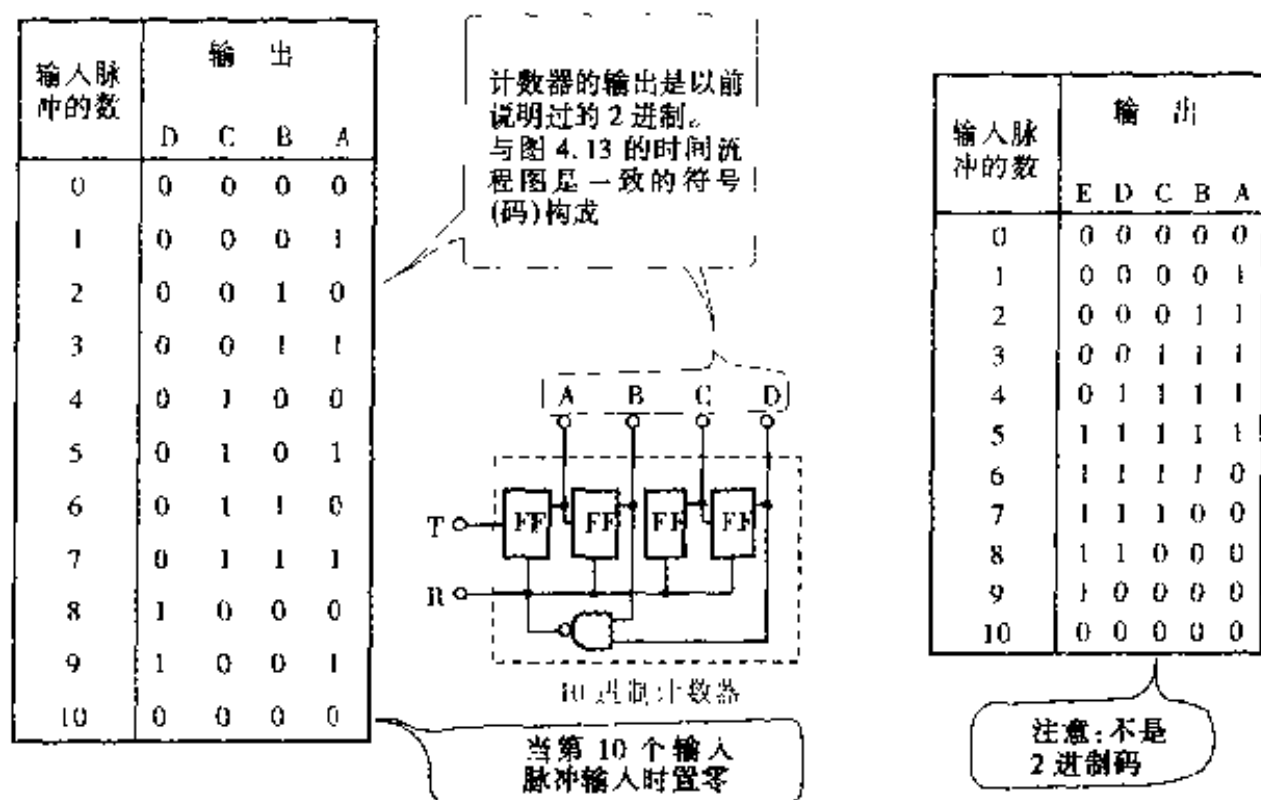
### 4.3.3 计数器的输出码

2 进制 4 位计数器如图 4.17 所示。在计数途中,依靠置零动作,可以得到 10 进制计数器。这个计数器电路可看成是 4 个触发器组成 1 个组件的 10 进制计数器。但其输出(A ~ D)出现的是 2 进制符号(图 4.18(a))。这样的计数器称为 BCD(Binary Coded Decimal)计数器或 2 进制化 10 进制计数器。

如果改变组成计数器的触发器的连接方法,则输出为与 2 进制码不同的内容。因此,选择计数器用 IC 时,必须注意是否是 2 进制码。图 4.18(b)表示了约翰逊码。

### 4.3.4 任何进制的计数器均可自由组成(N 进制计数器)

6 进制和 12 进制等的计数器,均可与制作 10 进制计数器一



(a) 2 进制码表示的 10 进制计数器的真值表与方块图 (b) 约翰逊码的 10 进制计数器真值表

图 4.18 在计数器的输出码中有各种方式

样考虑,从单纯的 2 进制可以制成任意进制的计数器。

图 4.19(a) 的真值表,表示了触发器各端子的输出状态,因此,参考这个内容,探讨从 A~D 的哪一个端子处有否必要制成置零脉冲。在组成 6 进制计数器时,真值是“0110”,所以是 B 和 C,而 12 进制计数器为 C 和 D,在这些端子产生置零脉冲即可达到目的。

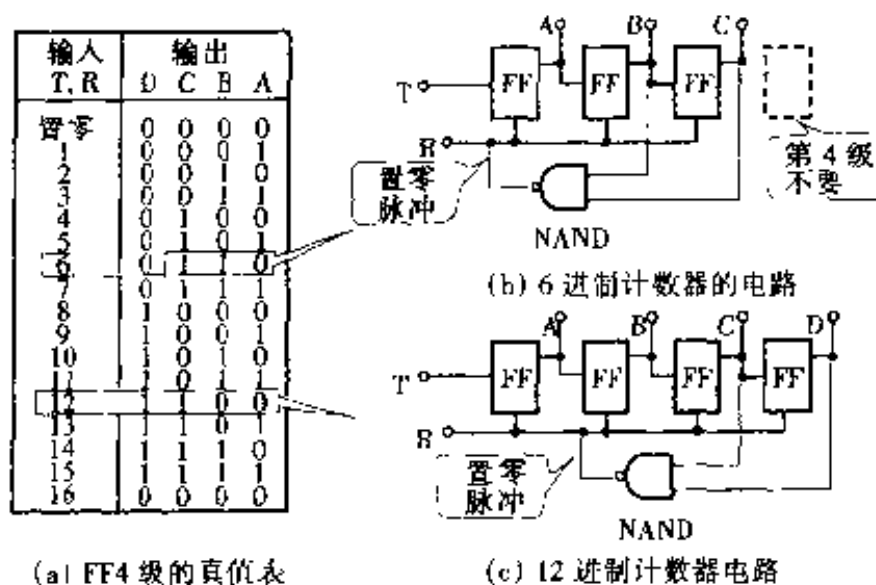
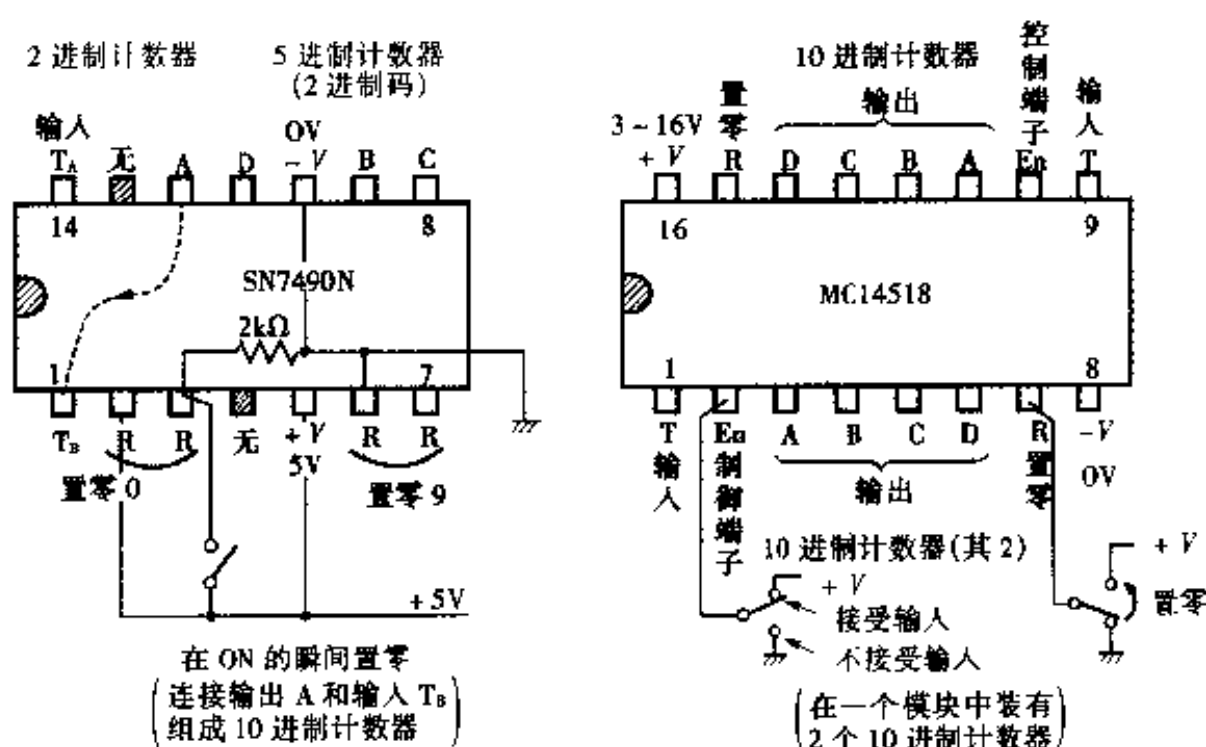


图 4.19 N 进制计数器的电路 (N=6, N=12 时)



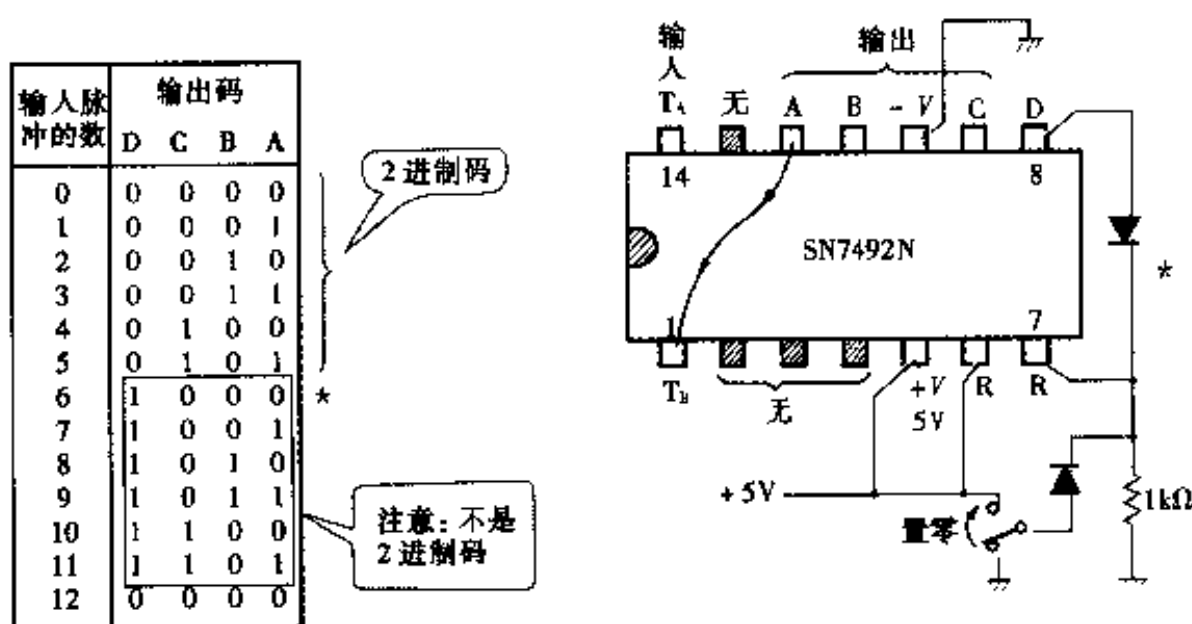
## 4.4 计数器 IC 的实用例子



(a) TTL 10 进制计数器的例子

(b) CMOS 10 进制计数器的例子

图 4.20 2 进制化 10 进制计数器用 IC 的例子



(a) SN 7492N 的真值表

(b) 6 进制计数器的使用方法

图 4.21 12 进制计数器(SN 7492N)的真值表及使用方法

### 4.4.1 2 进制化 10 进制计数器用的 IC

数字电路中必须要用计数器时,用触发器 IC 制作计数器工作量很大,而且如只用晶体管来制作时,将变为非常复杂的电路。因此,除了特别的用途,均使用市场能买到的计数器 IC。

图 4.20 中表示了 10 进制计数器的例子。其计数的结果都在 A ~ D 端子用 2 进制数输出,为“2 进制化 10 进制 (BCD) 计数器”。

图 4.20(a) 的 SN7490N 是 (2 进制)  $\times$  (5 进制) 分离结构,用作 5 进制使用时,其输出也是 2 进制码。另外,10 进制计数器用于 2 级以上连接的方法较多,所以图 4.20(b) 的 MC14518 的使用很方便。

### 4.4.2 12 进制计数器 IC 的例子

图 4.21 的 SN7492N 是 12 进制计数器用 IC,但是,如在真值表中所示的,其输出的一部分不是 2 进制码。因此对 10 进制数字进行变换的译码器(后面说明)也必须适用于这个情况。如果如图 4.21(b) 那样连接起来,用作 6 进制计数器使用时,可以得到 2 进制码的输出。

需要 2 进制码的 12 进制计数器时,也有像图 4.22 那样将 16 进制计数器 IC 作为 12 进制使用的方法。

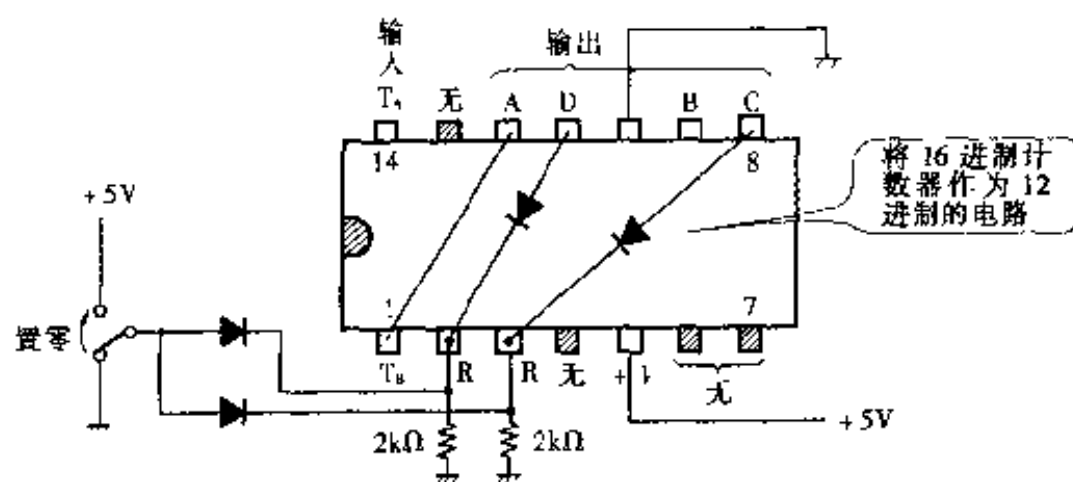


图 4.22 将 16 进制计数器(SN 7493N)作为 12 进制计数器(2 进制码)使用

## 本章小结

### [1] 计数器的小结

- 计数器的代表物是钟表。
- 计数器的基本电路是触发器。
- 1 个触发器相当于 1:2 的齿轮 1 对。
- 触发器串行连接时为 2 进制计数器,2 进制的位数与触发器的个数相等。
- 2 进制计数器做非常单纯的工作。然而,用附加门电路为反馈电路,通过置零动作,任意进制的计数器都可制成。这时,真值表很有用。
- 实际的数字电路中,使用计数器 IC。

### [2] 圣诞节闪光彩灯的制作

通过自激多谐振荡器和计数器 IC 的组合, 试制作闪亮的圣诞用的彩灯。

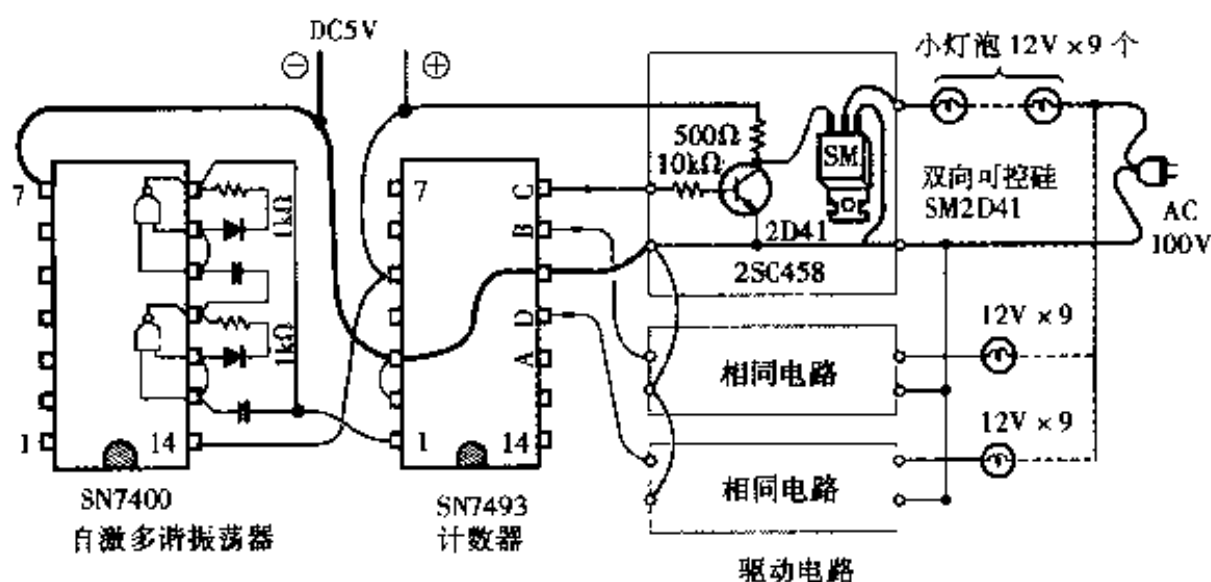


图 4.23 相互交叉闪亮的圣诞节彩灯



# 数学与电路的结合

——逻辑数学与逻辑电路

---

数字电路是输入与输出为 0 (例如电压低) 和 1 (例如电压高) 2 种状态的电路。这种思考方法用数学来表示则是逻辑数学。也即是给予的条件(输入)与其结果(输出)的关系中只使用 0 或 1 的公式。这里所说的 0 或 1 是用来表示 2 种不同的状态。而不是表示数值的内容。

这样,逻辑数学只有 0 与 1 的内容,因而可以制成对应于逻辑数学式的电路(即逻辑电路)。

本章,学习简单的逻辑数学和建立相应的目的的逻辑式,并学习如何对这个式子用逻辑电路来实现。

# 5.1 只有 0 和 1 的世界



图 5.1 从宇宙中来的数学?

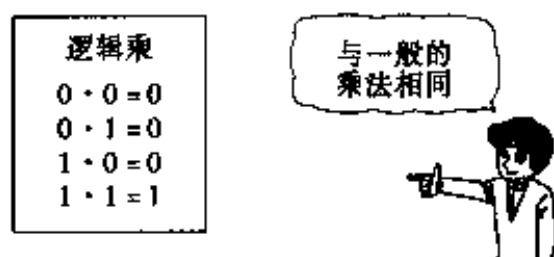


图 5.2 逻辑乘的计算

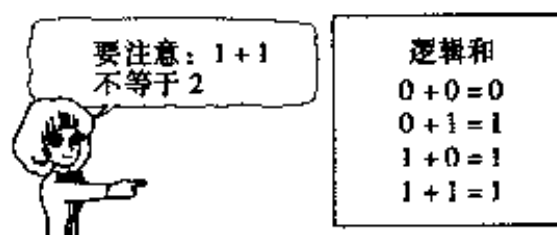


图 5.3 逻辑和的计算

### 5.1.1 简单的规定

逻辑数学只处理2个状态。这里,将2个状态中的一个状态表现为0,另一个状态表现为1。因为不涉及0与1以外的状态,因而可以规定以下几点。

如果  $X \neq 1$  则  $X = 0$

如果  $X \neq 0$  则  $X = 1$



图 5.4 只有0和1的世界的规定

因为只有0与1的2个状态中的一个,可得到图5.4的规定。用身边的例子来看,不是男的就是女的,不是女的就是男的,其他不存在。以这个思考方法为基础,可以有逻辑乘(AND),逻辑和(OR),否定(NOT)这样3个新的规定。

### 5.1.2 0和1世界中的积(逻辑乘)

图5.2是只有0与1所进行的乘法运算,这里0,1不是数值,而是表示2个状态中的一个。但是,将这2个状态所表示的0与1作为数字来看,逻辑乘的结果与一般数学的乘法有相同的计算结果。

这里,对于逻辑乘  $Y = A \cdot B$ ,Y要成为1的状态,仅仅是A与B、即A and B均为1状态时。因此,逻辑乘也称为AND。同样  $Y = A \cdot B \cdot C$  时,只有A and B and C为1时,Y才为1。其他情况下  $Y = 0$ 。(如图5.5)。

要得到与逻辑乘相同结果而制作的电路是在第2章中学习过的AND电路。A与B,Y的关系与第3章中的真值表相同。

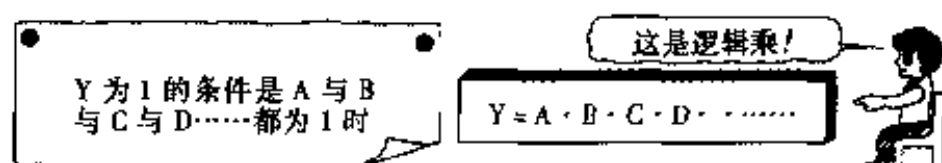


图 5.5 将逻辑乘称为 AND

逻辑式	$Y = A \cdot B$	$Y = A \cdot B \cdot C$
符号		

图 5.6 逻辑乘(AND)的式子和符号的关系

### 5.1.3 1 + 1 不是 2 的和(逻辑和)

逻辑乘情况下, 用与普通的数学相同的计算方法计算, 结果是一样的。但是逻辑和不能像普通数学那样计算。 $1 + 1$  的情况, 有以下的结果。一方是 1 的状态、另一方也是 1 的状态, 这时, 结果是哪一种状态呢? 结论是 1 状态, 即  $1 + 1 = 1$ 。

$1 + 0$  或  $0 + 1$  时, 一方是 0 的状态, 只要另一方是 1 的状态, 结果是 1 的状态, 这样  $1 + 1$  也好,  $1 + 0$  也好, 结论是 1。换言之对于  $Y = A + B$  的逻辑式, 只要 A 或 B, 即 A or B 是 1 时,  $Y = 1$ 。 $Y = 0$  的结果, 只有在 A 与 B 同时为 0 才成立。同样  $Y = A + B + C$  的情况, 在 A or B or C 为 1 时,  $Y = 1$ 。因此, 逻辑和又称 OR(如图 5.7)。



图 5.7 将逻辑和称为 OR

逻辑式	$Y = A + B$	$Y = A + B + C$
符号		

图 5.8 逻辑和(OR)的式子和符号的关系

利用符号表示逻辑和的式子如图 5.8 所示。

要得到与逻辑和相同结果而制作的电路是 OR 电路。

#### 5.1.4 不是 0,则是 0 的反面(否定)。

乘与和在普通数学中是存在的,而否定(不是)的思考方法是逻辑数学中特有的。在普通数学中,不是 4,这样的答案可以得出很多。而在只有 0 与 1 的世界中(逻辑数学),答案是一定的。也即否定 0 就为 1,否定 1 就为 0。“不是 0”用  $\bar{0}$ ，“不是 1”用 1。“不是 A”用  $\bar{A}$  表示。图 5.9 所示为否定式与符号。

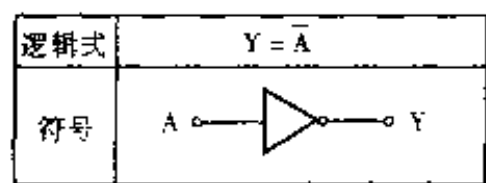


图 5.9 否定的式子和符号



## 5.2 使用公式简化电路

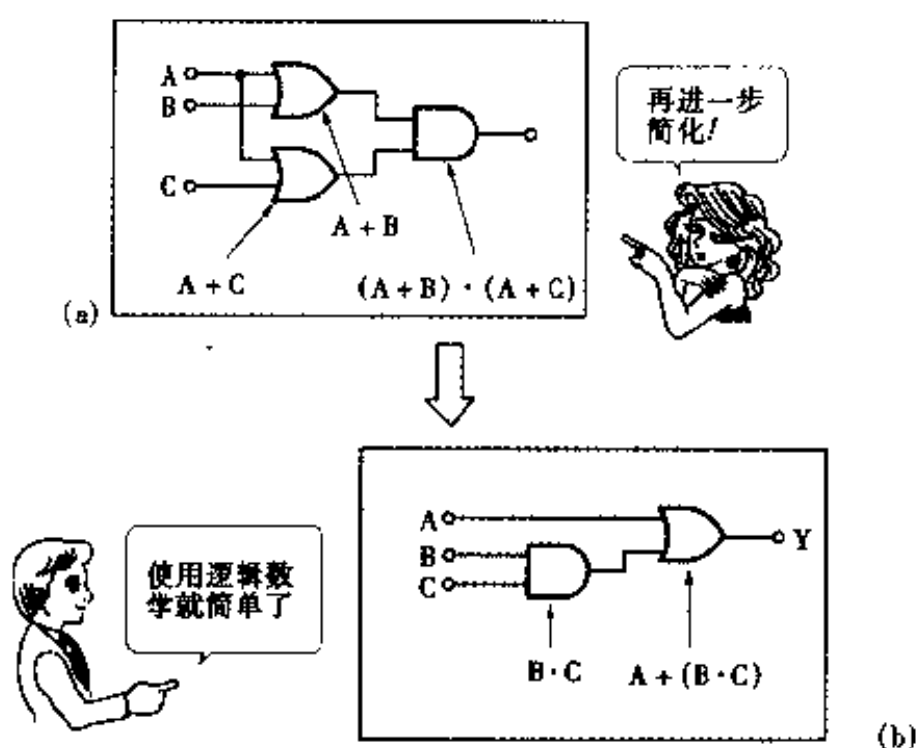


图 5.10 假如结果相同,当然简单的方法好

表 5.1 因为是 0 和 1,所以有如下关系

逻辑乘	逻辑和
$X \cdot 1 = X$	$X + 0 = X$
$X \cdot 0 = 0$	$X + 1 = 1$
$X \cdot X \cdot X \cdots = X$	$X + X + X \cdots = X$
$X \cdot \bar{X} = 0$	$X + \bar{X} = 1$

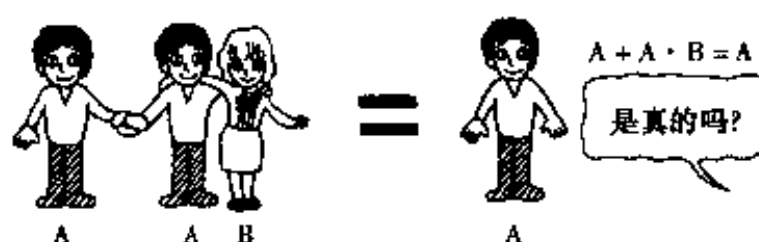


图 5.11 在 0 和 1 的世界中也可能如此

### 5.2.1 由于是 0 或 1,所以有以下情况

逻辑数学并非处理数,而是处理只有 2 个状态的数学。只不过是为了表现这样的状态,使用了 0 与 1 这 2 个符号。从这个意义上讲,不使用 0 与 1,而使用第 3 章中用的 L 与 H 的表现方法也是同样的。

这里,将不知为 0 还是为 1 的状态设为 X,对它的逻辑乘与逻辑和更深入的探讨一下,如表 5.1 所示。确认这些公式正确与否,只要在 X 处代入 0 或 1 即可验证。例如,对于逻辑乘的  $X \cdot \bar{X}$ ,X 为 0 时  $0 \cdot \bar{0} = 0 \cdot 1 = 0$ ,X 为 1 时,  $1 \cdot \bar{1} = 1 \cdot 0 = 0$ ,也即 X 不管是 0 还是 1 都有  $X \cdot \bar{X} = 0$ 。同样,在 X 处用 0 或 1 代入,可知表 5.1 中所有公式是正确的。

### 5.2.2 或者结合在一起,或者分开

在逻辑数学中,也有与普通数学一样,有时要加 ( ),或者将它们分开的方法。但是,必须注意的是,其内容与普通数学不同。

#### a 交换

$$A \cdot B = B \cdot A \quad (1)$$

$$A + B = B + A \quad (2)$$

#### b 结合

$$A + (B + C) = (A + B) + C \quad (3)$$

$$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C \quad (4)$$

#### c 分配

$$A \cdot (B + C) = (A \cdot B) + (A \cdot C) \quad (5)$$

$$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C) \quad (6)$$

#### d 吸收

$$A \cdot (A + B) = A \quad (7)$$

$$A + A \cdot B = A \quad (8)$$

对分配及吸收  
要多加注意

上面这些公式,有与普通数学一样的,也有完全不一样的。为了确认其正确性,只要在左右两边中,各代入 0 与 1 的数值就可以证明。例如,在式(6)中,只要像表 5.2 一样,A、B、C 可用 0、1 所

表 5.2  $A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$  的证明

A	B	C	$(B \cdot C)$	左 边 $A + (B \cdot C)$	$(A + B)$	$(A + C)$	右 边 $(A + B) \cdot (A + C)$
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1
1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1



有的数值代入,证明左边 = 右边就可以了。A、B、C 的 0、1 组合一共有八组,将这八组数值代入时,左边均等于右边,也即式 (6) 得到证明。

5.2.3 当公式仅为“非”时,可用 AND 和 OR 替换

“非”(不是)这一种逻辑是逻辑数学的独特内容,通过使用这个否定,可以替换 AND 和 OR。

$$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B} \tag{9}$$

$$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B} \tag{10}$$

式 (9) 和式 (10) 称为**摩根定理**。 $\overline{A + B}$  是 A 与 B 的逻辑和的非,而  $\overline{A} \cdot \overline{B}$  是 A 的非与 B 的的非的逻辑乘。式 (9) 和式 (10) 的证明也同样可以通过建立真值表来求得。表 5.3 即是为证明式 (9) 而做成的真值表。

表 5.3  $\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$  的证明

A	B	$(A + B)$	左 边 $\overline{(A + B)}$	$\overline{A}$	$\overline{B}$	右 边 $\overline{A} \cdot \overline{B}$
0	0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0



### 5.2.4 不能除、不能减的讨论

在逻辑数学中没有除法运算与减法运算,所以在  $A \cdot B = A \cdot C$  时,不能两边均用  $A$  去除而得到  $B = C$ . 在表 5.4 中,不管哪一种  $A \cdot B = A \cdot C$ ,  $B$  均不等于  $C$ 。在减法方面,例如,  $A + \bar{A}B = A + B$ , 两边减去  $A$ ,也不能够得到  $\bar{A}B = B$ 。

**表 5.4 不能做除法**

A	B	C	$A \cdot B$	$A \cdot C$
0	0	1	0	0
0	1	0	0	0

在  $AB = AC$  时  
两边用  $A$  去  
除,能否得到  
 $B = C$ ?



### 5.2.5 公式变为电路,电路变为公式

逻辑数学中有逻辑乘、逻辑和及否定 3 种。而对应的逻辑电路有 AND 电路、OR 电路、NOT 电路 3 种。数学式和电路即使不同,逻辑乘与 AND 电路可得完全相同结果。逻辑和与 OR 电路,否定与 NOT 电路也一样。因此,即使含有多个逻辑乘、逻辑和等的公式,也必然有对应的逻辑电路存在。相反,对于含有多个 AND 电路和 OR 电路等电路时,也能求得与此对应的逻辑式 (见图 5.12)。



图 5.12 将公式变为电路,将电路变为公式

(1) 探讨一下将  $Y = A + \bar{B}$  的逻辑式转化成电路情况。因为这是  $A$  与  $B$  的否定的逻辑和,所以是如图 5.13 所示的电路。

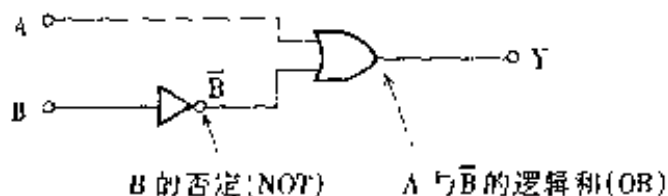


图 5.13  $Y = A + \bar{B}$  的电路

(2) 再对稍稍复杂的公式  $Y = A \cdot (\bar{B} + C)$  求解电路。这个式中含有 ( ), 所以先将 ( ) 中的  $\bar{B} + C$  变为电路, 其后再求解与  $A$  的逻辑乘, 其电路如图 5.14 所示。

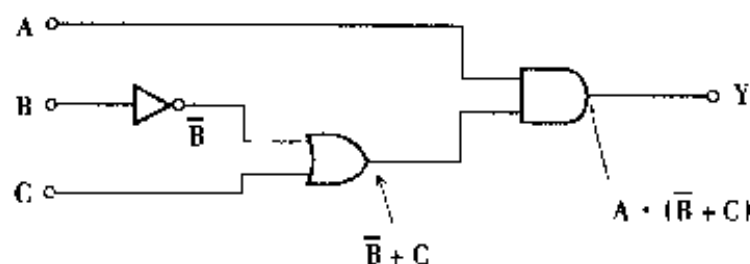
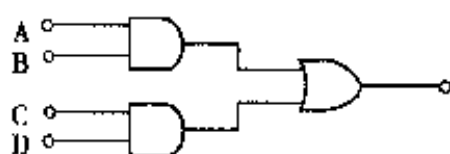


图 5.14  $Y = A \cdot (\bar{B} + C)$  的电路

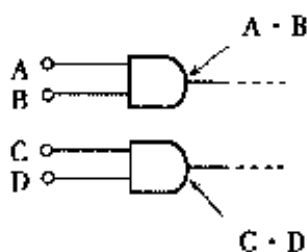
(3) 不管如何复杂的、有长长的公式, 均可由 AND、OR、NOT 这 3 种电路组合而成。因此, 只要根据公式, 按顺序地将它变为电路即可。

反之, 探讨如何从电路变为公式。将图 5.15(a) 所示的电路变为公式时, 首先考虑输入一方变为怎么样的电路 (如图 5.15(b))。

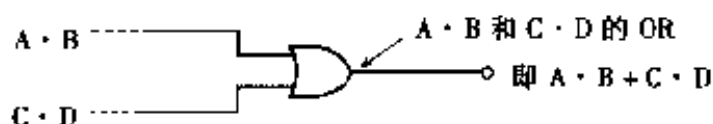
接着, 再求后面的电路变为怎么样的公式。最终输出的公式为  $Y = A \cdot B + C \cdot D$  (如图 5.15(c))。



(a) 变为什么公式呢?



(b) 各个电路是哪样的公式呢?



(c) 结论  $Y = A \cdot B + C \cdot D$

图 5.15 将电路变为公式

### 5.2.6 利用公式简化电路

公式变为电路,电路变为公式都可以实现,所以在组成某电路时,首先简化公式,如果这个公式可以简化为简单式,按照简化式再组成电路,这个方法可行时,组成的电路也简单了。

例如,试组成  $Y = (A + B) \cdot (A + C)$  的电路。从式(6)可得  $A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$ 。利用这个公式,可以组成  $A + (B \cdot C)$  的电路,可以得到与  $(A + B) \cdot (A + C)$  的完全相同的结果。从图 5.10 可知图 5.10(a)与图 5.10(b)是一样的结果,比较一下,哪一种简单,是一目了然的。

## 5.3 各种逻辑电路



图 5.16 表决时不用举手!

表 5.5 表决时的真值表

输入			输出
A	B	C	Y
1	1	0	1
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	1	1

只有 C 反对

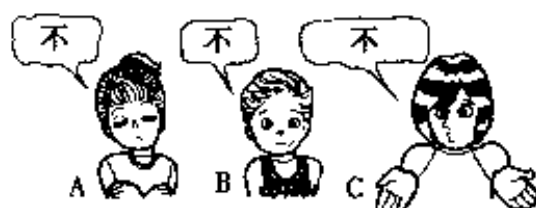
全体赞成

Y 为 1 的条件只限于表中所示组合



$$Y = A \cdot B \cdot C$$

(a) 全体一致(赞成)



$$Y = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}$$

(b) 这也是全体一致(不赞成)

图 5.17 全体一致只有 2 种情况

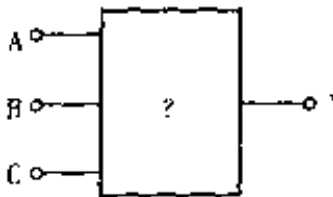
### 5.3.1 只有全部一致时,输出才为 1(一致逻辑电路)

有多数的输入,如果所有的输入均为 1,输入为完全相同(一致)。当然,输入均为 0,这也是一致。这种所有的输入为 1 或 0 完全一致时,才有输出为 1 的电路,称为一致逻辑电路(如图 5.17)。

这里讨论一下有 3 个输入时的一致逻辑电路。因为输入有 3 个,其值各可取 0 与 1,其所有组合有  $2^3 = 8$ 。这 8 组数值的真值表可以列出,而因为输出为 1 的条件是只有在所有的输入为 0 或 1 才有可能,其真值表为表 5.6。

表 5.6 一致逻辑电路的真值表

什么电路不清楚其真值表如右表所示



输 入			输出
A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

输入所有均为 0, 一致(不赞成)

输入所有均为 1, 一致(赞成)

这样,输出要成为 1,则要  $A = 1, B = 1, C = 1$ ,所有输入一致为 1 时,或  $A = 0, B = 0, C = 0$ ,所有输入一致为 0 时。

$A = 1, B = 1, C = 1$  时,  $Y = 1$  的逻辑式是  $Y = A \cdot B \cdot C$ 。这是 3 个逻辑乘,如图 5.18 所示,  $A, B, C$  中只要有 1 个为 0,  $Y \neq 1$ 。

另外,  $A = 0, B = 0, C = 0$  时,  $Y = 1$  的逻辑式是  $Y = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}$ 。这是各个输入的否定(NOT)的逻辑乘,电路如图 5.19 所示。

这样,图 5.18 和图 5.19,  $Y$  均为 1,所以最终电路如图 5.20 所示。

### 5.3.2 表决时不用计数也可知道结果

有多个输入,其中只有过半数的输入为 1 时,输出为 1 的电



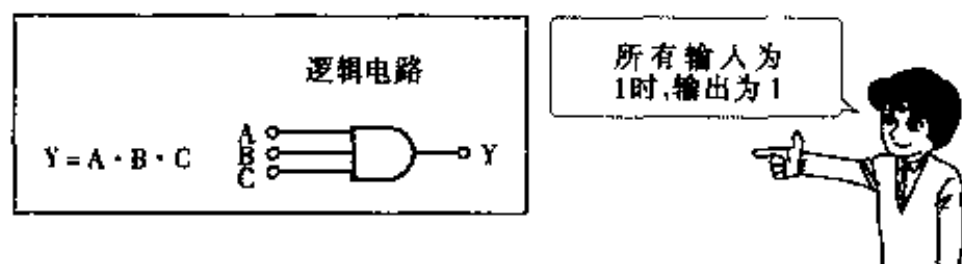


图 5.18 输入均为1时, 输出为1

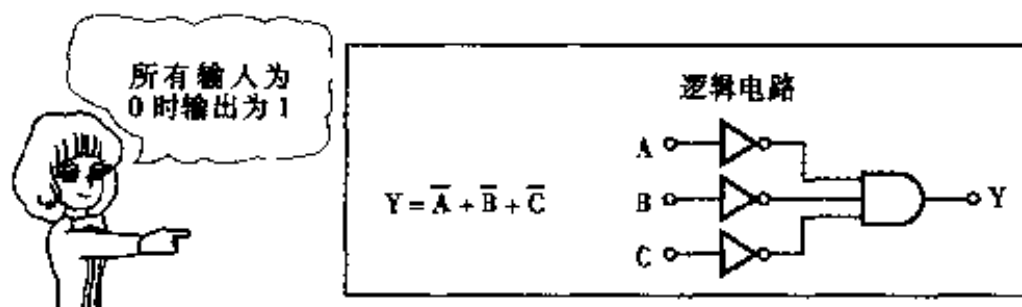


图 5.19 输入一致为0时, 输出为1

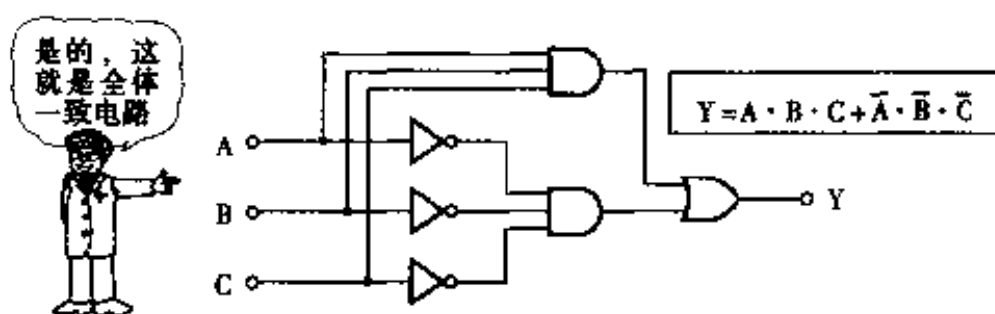


图 5.20 一致逻辑电路

路称为表决逻辑电路。这里, 设有3个输入时的情况。3个输入中过半数为1有图5.21所示的4种情况。其真值表如表5.5所示(只表示输出为1的条件)。

图5.22是基于表5.5的真值表的电路情况。

另外, 公式可以进行简化, 电路也可以简化。

$$\begin{aligned}
 & A \cdot B \cdot \bar{C} + A \cdot \bar{B} \cdot C + \bar{A} \cdot B \cdot C + A \cdot B \cdot C \\
 &= (A \cdot B \cdot \bar{C} + A \cdot B \cdot C) + (A \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot B \cdot C) + \\
 &\quad (\bar{A} \cdot B \cdot C + A \cdot B \cdot C) \\
 &= A \cdot B(C + \bar{C}) + A \cdot C(B + \bar{B}) + B \cdot C(A + \bar{A}) \\
 &= A \cdot B + A \cdot C + B \cdot C
 \end{aligned}$$

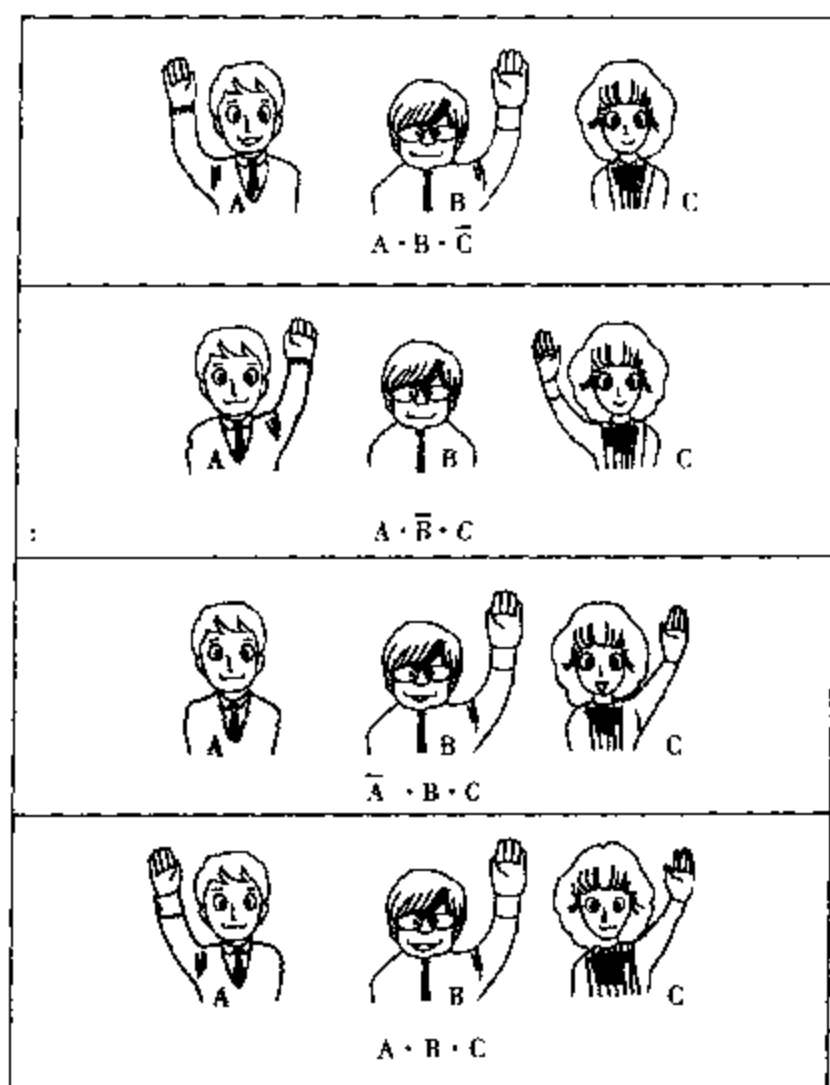


图 5.21 3 人表决时,通过有 4 组情况

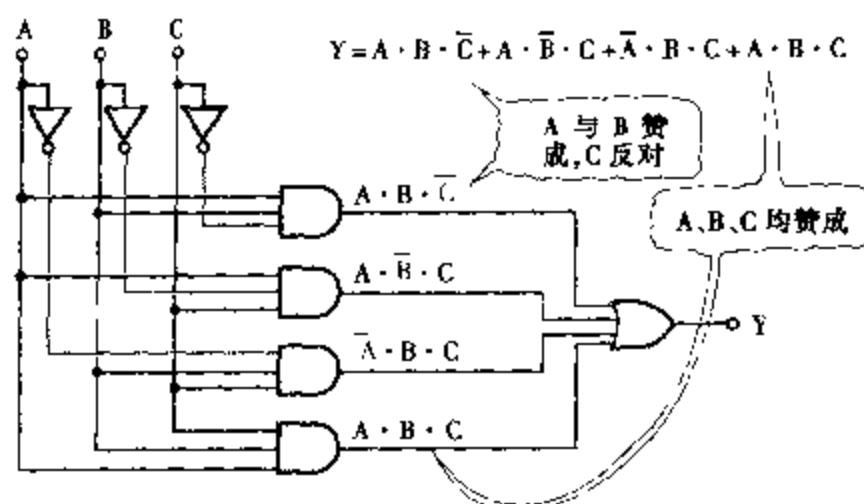


图 5.22 表决逻辑电路

## 5.4 无论哪种要求都可以组成电路

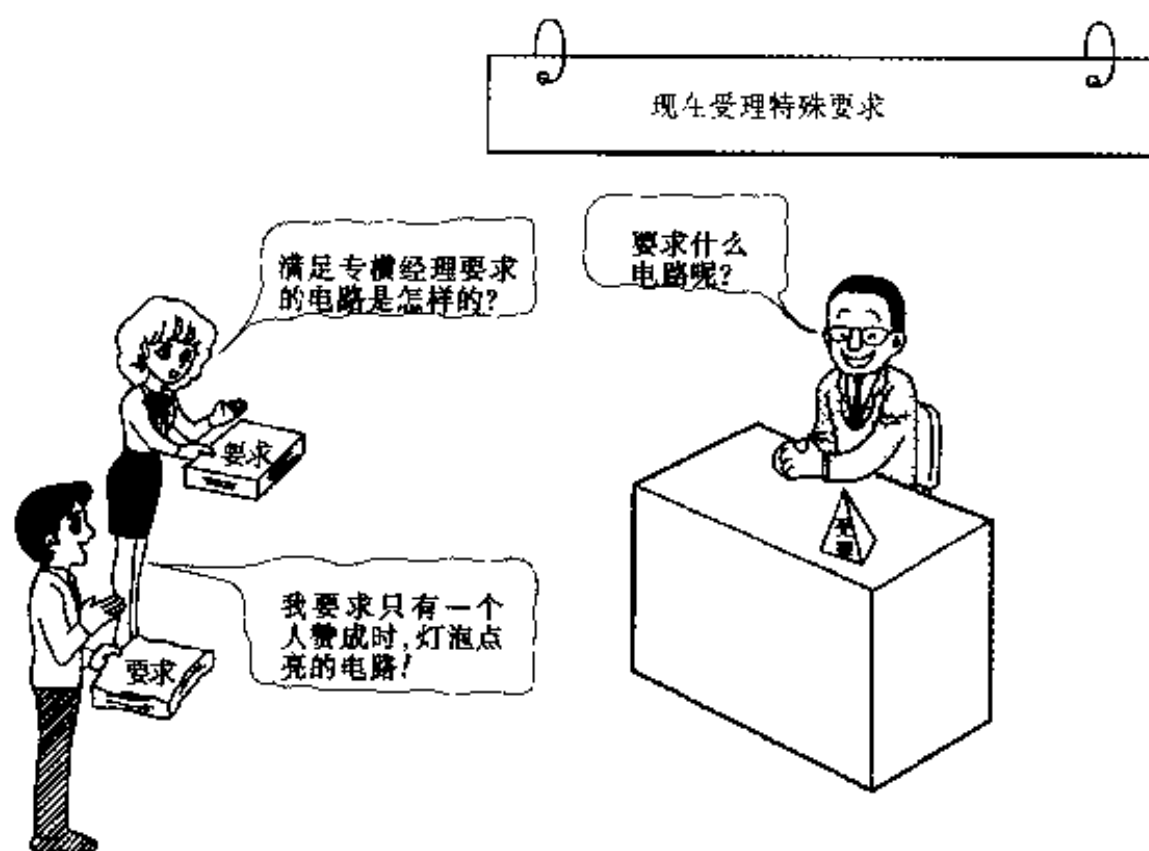


图 5.23 什么样的要求都行

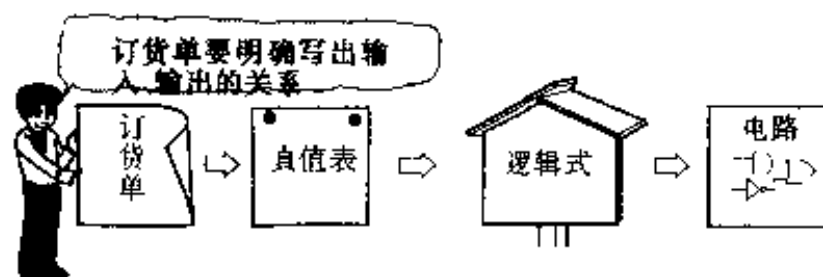


图 5.24 接受订货后的处理顺序

### 5.4.1 接受要求后,如何进行呢?

逻辑数学是0与1的世界。在这个局限于给出的条件为0与1、结论也是0与1的世界中,无论有什么样的要求,均可以做到。在第7章中要学习的计算机,也不过是一个根据要求,通过0与1的组合,而得到的实际电路。

如图5.24所示,如果接受到订货之后,首先是根据订货的要求建立真值表,这个工作已经在一致逻辑电路、表决逻辑电路中做过了。真值表是列出在什么样的输入时,可得到输出为1的表。

接着,建立真值表的输出为1的逻辑式。例如,输入A为1,B为0时,如果输出Y为1,那末逻辑式为 $Y = A \cdot \bar{B}$ 。输出为1的情况有几种可能时,再进一步将其组合起来即可。最后再将所建立的逻辑式组成电路即大功告成。

### 5.4.2 要求之一……赞成限于只有一个人时

举一个不是实用的例子,看一下怎样接受订货要求的。求当有几个输入时,其中只有1个输入为1时,输出才为1的电路。这里设输入有3个时的情况。这时,赞成只限于如图5.25所示一个人,而赞成为2个人时,输出即为0。这样,有多个输入,只有其中1个为1时,输出才为1的电路,称为排他逻辑和电路。

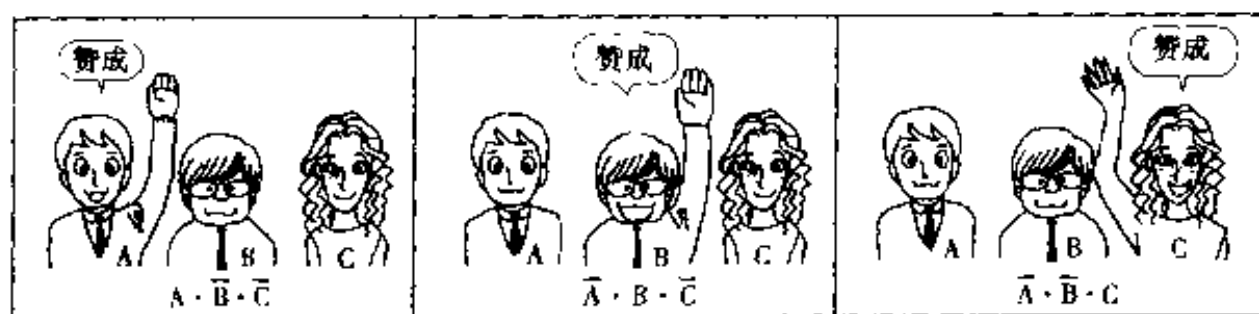


图 5.25 赞成只限于一个人

将它的输入与输出关系(条件)列出真值表如表5.7。在表5.7中,仅仅输入A为1时, $Y=1$ 的式为 $Y = A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}$ 。仅仅输入B为1时, $Y=1$ 的式为 $Y = \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C}$ ,仅仅输入C为1时, $Y=1$ 的式为 $Y = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C$ 。这3个式,无论哪一个式均是 $Y=1$ ,

所以整理成一个式子时,有下式

$$Y = A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot B \cdot C$$

将这个式子做成电路,则如图 5.26 所示。

表 5.7 赞成只限于一个人时电路真值表的一部分

输 入			输出
A	B	C	Y
1	0	0	1
0	1	0	1
0	0	1	1

输入的组  
合全体有  
8 组,这  
里只表示  
输出为 1  
的情况

其他的组  
合均为  
 $Y = 0$

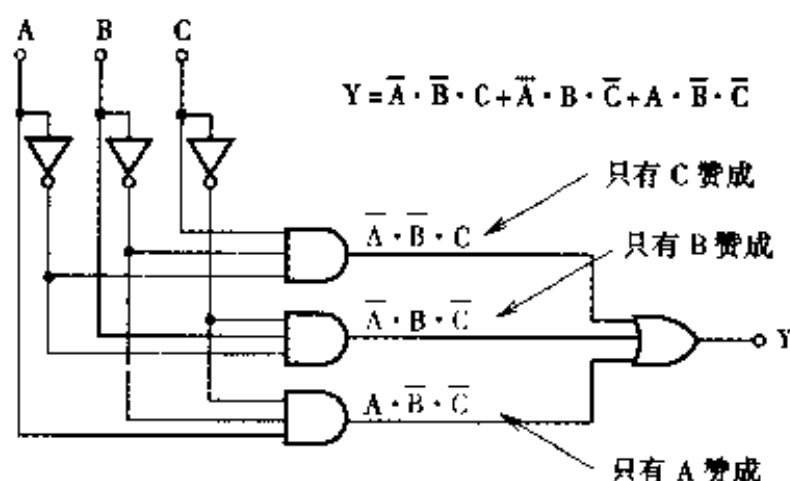


图 5.26 赞成仅限于一人的电路

### 5.4.3 要求之二……专横的经理的要求

因为宣称“怎么样的要求均可做到”,因此会接受到如图 5.27 所示的要求。这里有经理的表现,也有职员的表现,所以会有一些难于理解的内容。

用比较熟悉的形式,将经理设为 A,职员 2 人设为 B 与 C,列

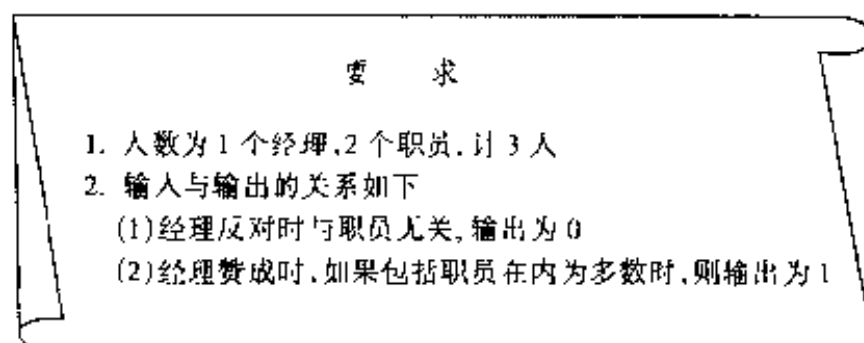


图 5.27 专横的经理的要求

表 5.8 将要求内容做成真值表

要求内容	输 入			输出
	A	B	C	Y
若 A(经理) = 0, 与 B、C(职员)无 关时, Y = 0	0	0	0	0
	0	0	1	0
	0	1	0	0
	0	1	1	0
若 A(经理) = 1, 与 B、C(职员)一 起, 服从少数服 从多数	1	0	0	0
	1	0	1	1
	1	1	0	1
	1	1	1	1

请注意这  
3 个条件



出表 5.8 所示的真值表。

在表 5.8 的真值表中, 输出  $Y = 1$  的条件为

$$A = 1, B = 0, C = 1 \quad (1)$$

$$A = 1, B = 1, C = 0 \quad (2)$$

$$A = 1, B = 1, C = 1 \quad (3)$$

中的任意一个。分别将它变成公式为

$$Y = A \cdot \bar{B} \cdot C \quad (1)'$$

$$Y = A \cdot B \cdot \bar{C} \quad (2)'$$

$$Y = A \cdot B \cdot C \quad (3)'$$

再进一步将它做成电路, 则如图 5.28 所示。

将图 5.28 的(1)'、(2)'、(3)'整理成一个式子时, 为

$$Y = A + B \cdot C + A \cdot B \cdot C + A \cdot B \cdot C$$

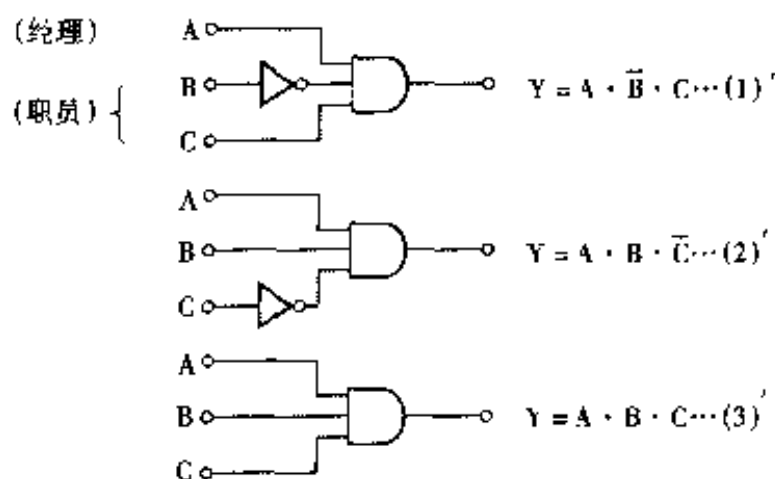


图 5.28 专横的经理要求的各种情况



## 5.5 进行加法运算的电路(加法器)

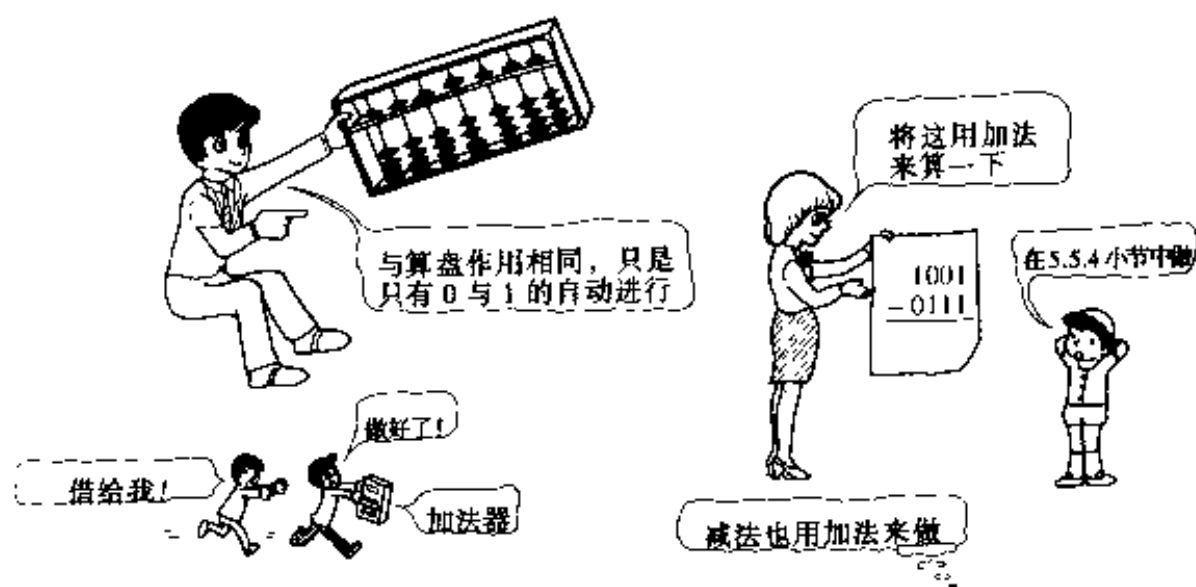


图 5.30 加法器与算盘一样

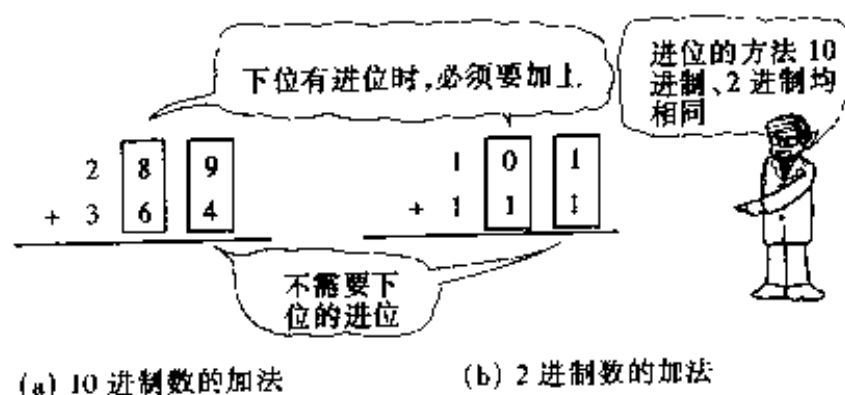


图 5.31 加法的方法



### 5.5.1 一半的加法器(半加器)

进行2个数的加法,如图5.31所示,第1位的加法做 $9+4$ 就可以。但是第2位则不仅要做法 $8+6$ ,而且当第1位有进位时,还要加上这个进位。2进制数的加法也与此相同。不考虑进位的加法器称为**半加器** (half adder), 而同时考虑进位的加法器称为**全加器** (full adder)。

不考虑进位也即最低位的加法只有图5.32所示的4种情况。虽然不考虑进位,作为加法的结果,在 $1+1$ 时,出现向上位的进位。这里,必须注意的是,逻辑和的 $1+1$ 与加法的 $1+1$ 在意义上是不同的。**加法是普通的数学。**

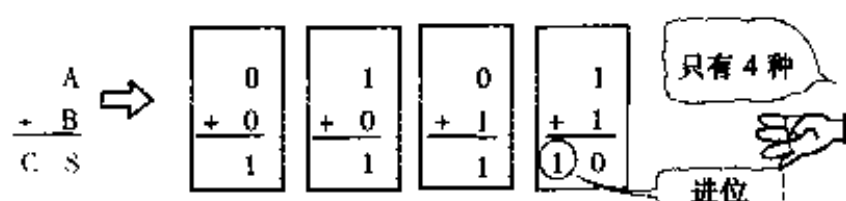


图 5.32 2 进制数 1 位的加法

图5.32中A、B和C、S的关系用别的书写方法整理一下,有表5.10一样的真值表。

表 5.10 1 位加法的真值表

A	B	C	S
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	1	0

S 为和(Sum),  
C 为进位(Carry)



在表5.10中,首先注意S。看一下A、B与S的关系。只有A、B中的任意1个为0,另1个为1时,S为1。也即只有不一致,S为1。这是前面所学习到的排他逻辑和(多数输入时,仅仅只有1个输入为1时,输出为1), $\bar{A} \cdot B = 1$  或  $A \cdot \bar{B} = 1$  时,  $S = 1$  所以,整理成一个式子时为

$$S = \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B}$$

下面,注意一下C,A、B两个均为1时,C=1。这是逻辑乘。因

此  $C$  的式子如下

$$C = A \cdot B$$

上面的 2 个逻辑式变为电路时, 就可以得到如图 5.33 所示的半加器电路。

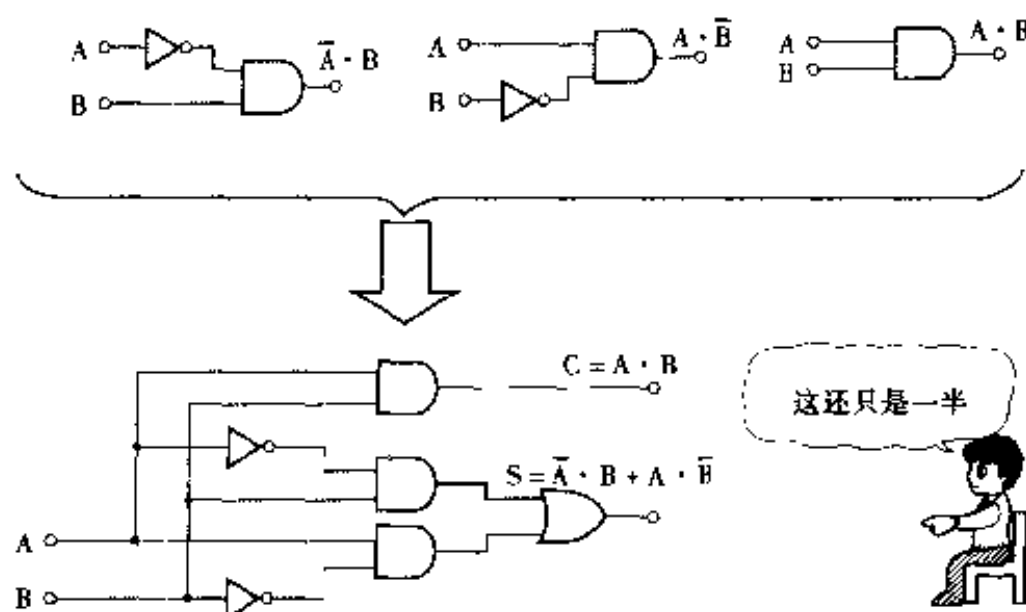


图 5.33 半加器电路

### 5.5.2 2 个半加器则为 1 个加法器(全加器)

能够进行计算从下位产生的进位的加法器为全加器, 这是用 2 个半加器, 组成如图 5.34 所示电路。

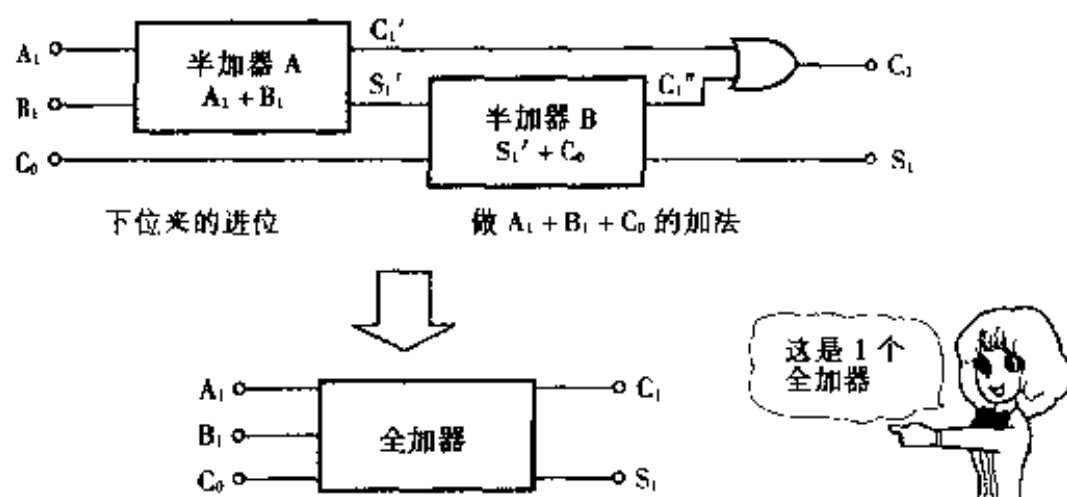


图 5.34 2 个半加器组成全加器

这样, 位数即使再多, 对于其中任意 1 位的加法, 包含有低位来的进位即可组成全加器。全加器的真值表在表 5.11 中列出。

表 5.11 全加器的真值表

输入			中间结果			结 果	
$A_i$	$B_i$	$C_0$	$C_i$	$S_i$	$C_i$	$C_i$	$S_i$
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0	0	1
1	1	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	1
1	0	1	0	1	1	1	0
0	1	1	0	1	1	1	0
1	1	1	1	0	0	1	1

### 5.5.3 多位数的加法

1 个全加器可以进行 2 进制数的加法运算, 所以如果做 2 位的加法, 使用 2 个全加器即可, 具体的结构如图 5.35 所示。

另外, 最低位的  $A_0 + B_0$  不用考虑从下位的进位, 所以用半加器即可。

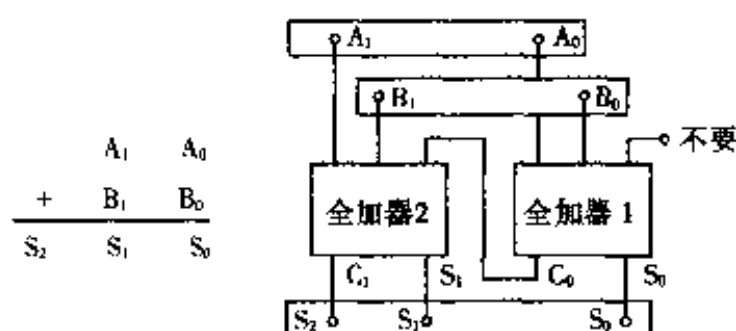


图 5.35 2 位的加法器电路

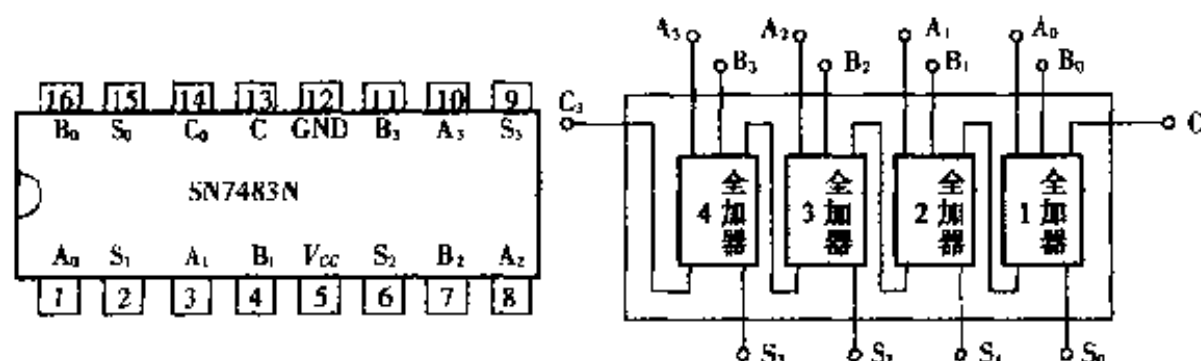


图 5.36 2 进制数 4 位的加法器 IC

图 5.36 所示是 2 进制数 4 位加法器 IC 的外观图和内部的连接图。

#### 5.5.4 减法运算用加法运算来进行

计算机除了加法还做其他各种运算,而其计算的基础是加法器。乘法运算用多次重复的加法运算,除法用多次减法运算来进行。这里试用加法运算的方法进行减法运算。

首先,将减数的 1 和 0 取它的反,再进行加法运算(如图 5.37)。

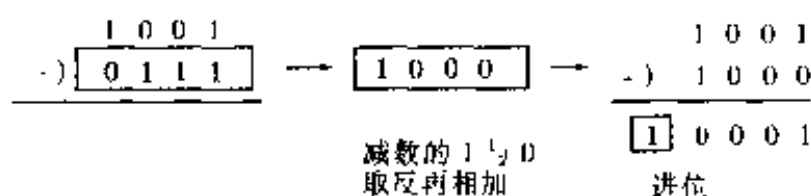


图 5.37 将 1、0 取反再相加

加法的结果,如果最高位有进位时,将这个进位再添加到其结果的最低位上,这就是答案(如图 5.38)。

最高位没有进位时,答案是负(或 0),图 5.39 中,如上所述的

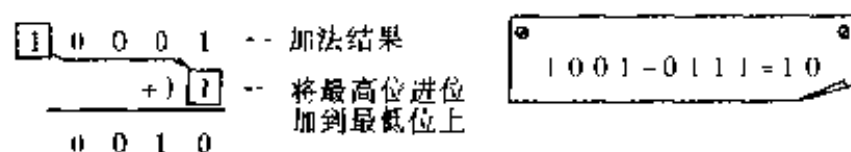


图 5.38 最高位有进位时

方法进行时,最高位没有进位。这时,将这个加法运算的结果的 1 与 0 再一次取反,最后加上 - (负)就是答案。而取 1 与 0 的反,只要使用 NOT 电路即可。

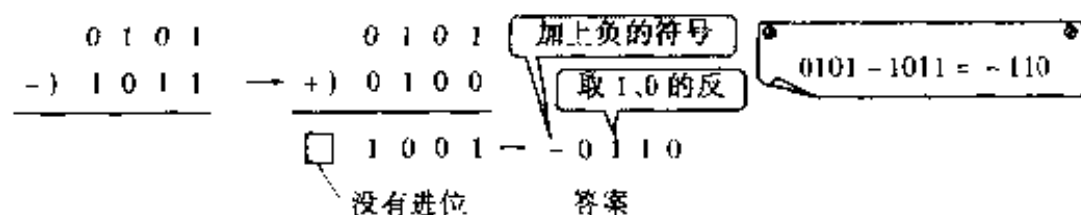


图 5.39 最高位没有进位时

## 5.6 运算电路的实验

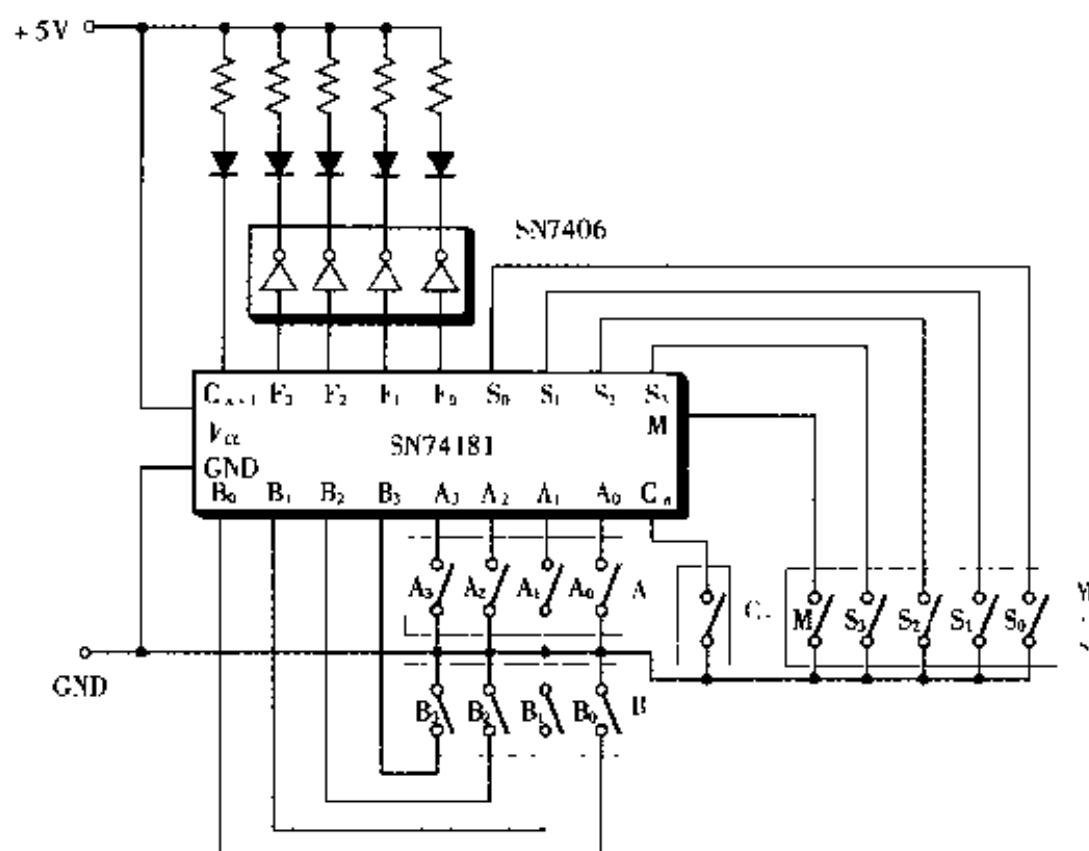


图 5.40 运算电路

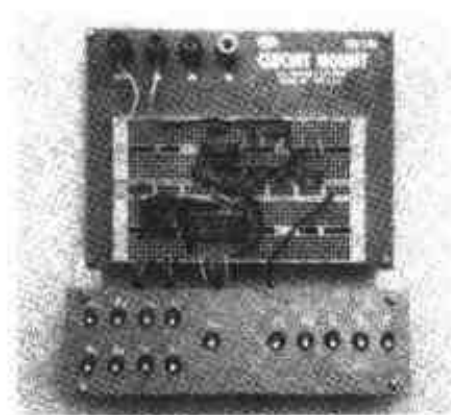


图 5.41 实验方法

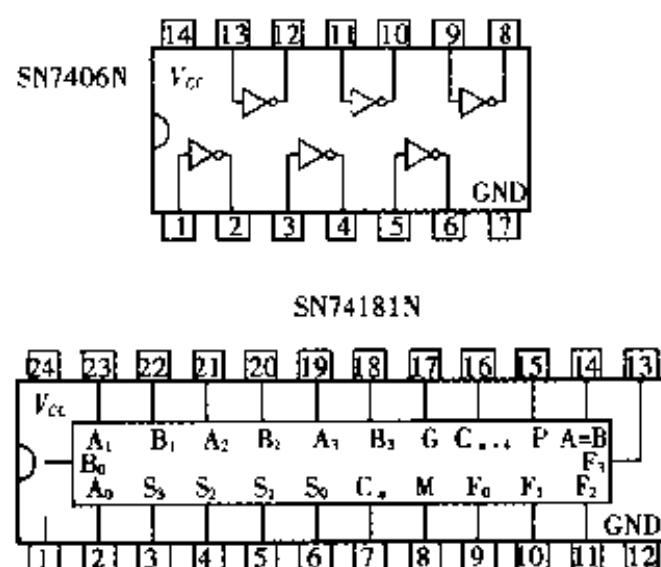


图 5.42 插脚的连接图

5.6.1 做  $1+1=1$ (逻辑运算)

如表 5.12 所示设定各个开关时, 可以进行各位的逻辑运算。例如,  $M=1, S_3=1, S_2=1, S_1=1, S_0=0$ , 则  $Y_0=A_0+B_0, Y_1=A_1+B_1, \dots$ 。表中的  $Y=A\oplus B$ , 是表示  $A$  与  $B$  不一致时,  $Y$  为 1, 被称为“同门”的逻辑运算。

表 5.12 逻辑运算的设定

工 作		开关的设定					
		$C_0$	M	$S_3$	$S_2$	$S_1$	$S_0$
OR	$Y=A+B$	*	1	1	1	1	0
AND	$Y=A \cdot B$	*	1	1	0	1	1
NOT	$Y=\bar{A}$	*	1	0	0	0	0
	$Y=A\oplus B$	*	1	0	1	1	0
	$Y=A$	*	1	1	1	1	1

\* $C_0$  为 1 为 0 均可  
 ④非其他的逻辑和(仅有一方为 0 时, 输出为 1)

5.6.2 做  $1+1=10$ (数值运算)

2 进制 4 位数值运算时, 如表 5.13 所示来设定。PLUS 是“+”, MINUS 是“-”, 因为与逻辑运算的表示方法易混淆, 所以这样来表示。另外, 在减法运算时,  $A$  的高位数值第五位被设定为 1。也即  $A_3, A_2, A_1, A_0$  均为 0 时,  $A$  的值被设定为 10000。

表 5.13 数值运算的设定

功 作		开关的设定					
		$C_0$	M	$S_3$	$S_2$	$S_1$	$S_0$
加法	$Y=A \text{ PLUS } B$	1	0	1	0	0	1
加法	$Y=A \text{ PLUS } A$	1	0	1	1	0	0
减法	$Y=A \text{ MINUS } B$	0	0	0	1	1	0

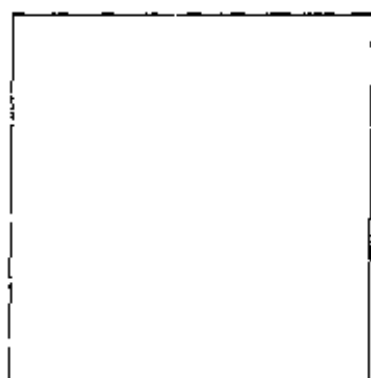
因为怕与逻辑运算有混淆, 所以加法时用 PLUS(+), 减法时用 MINUS(-)来表示

## 本章小结

- 只有 0 和 1 的数学称逻辑数学。
- 逻辑数学中所说的 0 与 1 不是数字,是表现例如电压低(0)电压高(1)那样 2 个状态的符号。
- 用逻辑式表示的内容,可以制成与逻辑式表示的结果完全相同的电路。
- 逻辑数学由乘、和、否定这 3 个组成。
- 根据目的,制作电路的方法:
  - (1) 以什么样的电路为目的,要十分明确
  - (2) 根据目的列出真值表
  - (3) 注意到输出为 1 的输入的条件
  - (4) 写出输出为 1 的条件时逻辑式
  - (5) 逻辑式可简化时,将它简化
  - (6) 根据逻辑式,制成逻辑电路
  - (7) 逻辑电路是否达到目的,再次列出真值表,进行检验
- 要十分明确逻辑数学与普通数学的不同:
  - (1)  $1 + 1 = 1$  为什么?
  - (2)  $\bar{1}$  具有什么意义?

[问] 逻辑电路的  $1 + 1$  与加法电路的  $1 + 1$  有什么不同?

[答] 逻辑电路的  $1 + 1$  是表示输出处于什么状态,只有 0 或者 1 的结果。这时,输出是处于 1 的状态。加法电路的  $1 + 1$  是普通的 2 进制的加法运算,计算结果是求得的数值,这时  $1 + 1 = 10$ 。



# 信号的输入或输出 电路(显示电路)

在我们日常生活中 使用着的 10 进制“数”和 A、B、C、…等那样的“文字”是不能原样输入到计算机中去的。但是,通过将文字和数字经过“1 和 0”的组合,变成符号,作为信号,就可在数字电路和计算机中进行处理。例如,10 进制数中的“5”这一个信息,用 2 进制数来表示为“101”,将它作为“101”这个符号来考虑就可以了。

本章,通过将 10 进制数变成 2 进制数及将 2 进制数变成 10 进制数的电路,学习有关“信息的符号电路”以及“阅读符号的电路”。



## 6.1 “位”与“字节”是信息单位

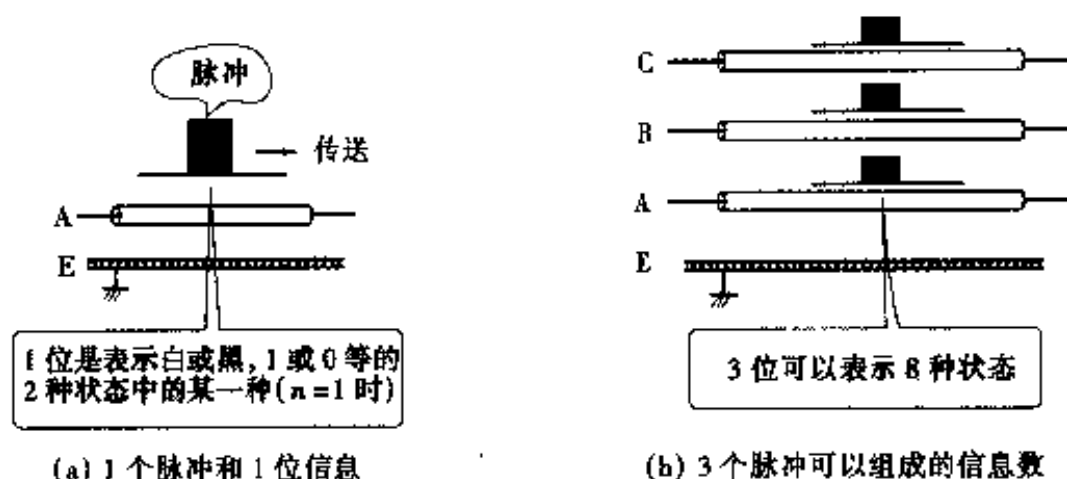


图 6.1 通过  $n$  个脉冲( $n$  位)可以传送的信息为  $2^n$  种

10 进制	0 ~ 9 : 10 种	共有 93 种
字母表	A ~ Z : 26 种	
符号	+, -, =, ... : 10 种	
假名文字	イ, ロ, ハ, ... : 47 种	

图 6.2 微机中使用符号的数量(例)

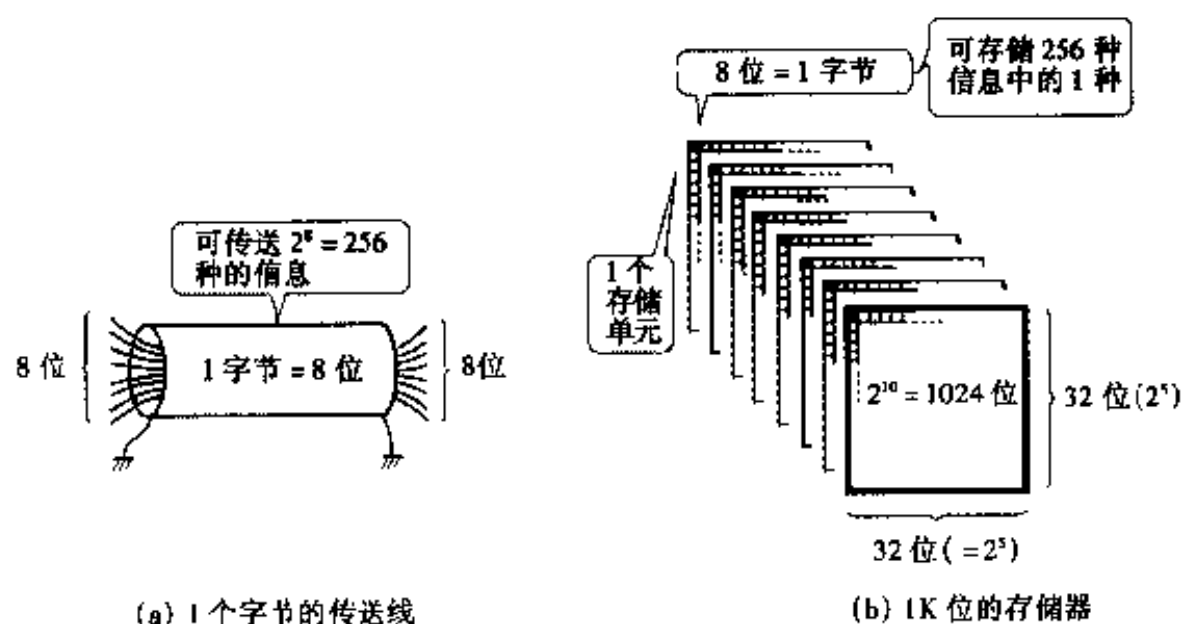


图 6.3 1 个字节为 8 位可以有 256 种使用方法

# VI

## 信号的输入或输出 电路(显示电路)

---

在我们日常生活中 使用着的 10 进制“数”和 A、B、C、…等那样的“文字”是不能原样输入到计算机中去的。但是,通过将文字和数字经过“1 和 0”的组合,变成符号,作为信号,就可在数字电路和计算机中进行处理。例如,10 进制数中的“5”这一个信息,用 2 进制数来表示为“101”,将它作为“101”这个符号来考虑就可以了。

本章,通过将 10 进制数变成 2 进制数及将 2 进制数变成 10 进制数的电路,学习有关“信息的符号电路”以及“阅读符号的电路”。

## 6.2 编码器是翻译吗?

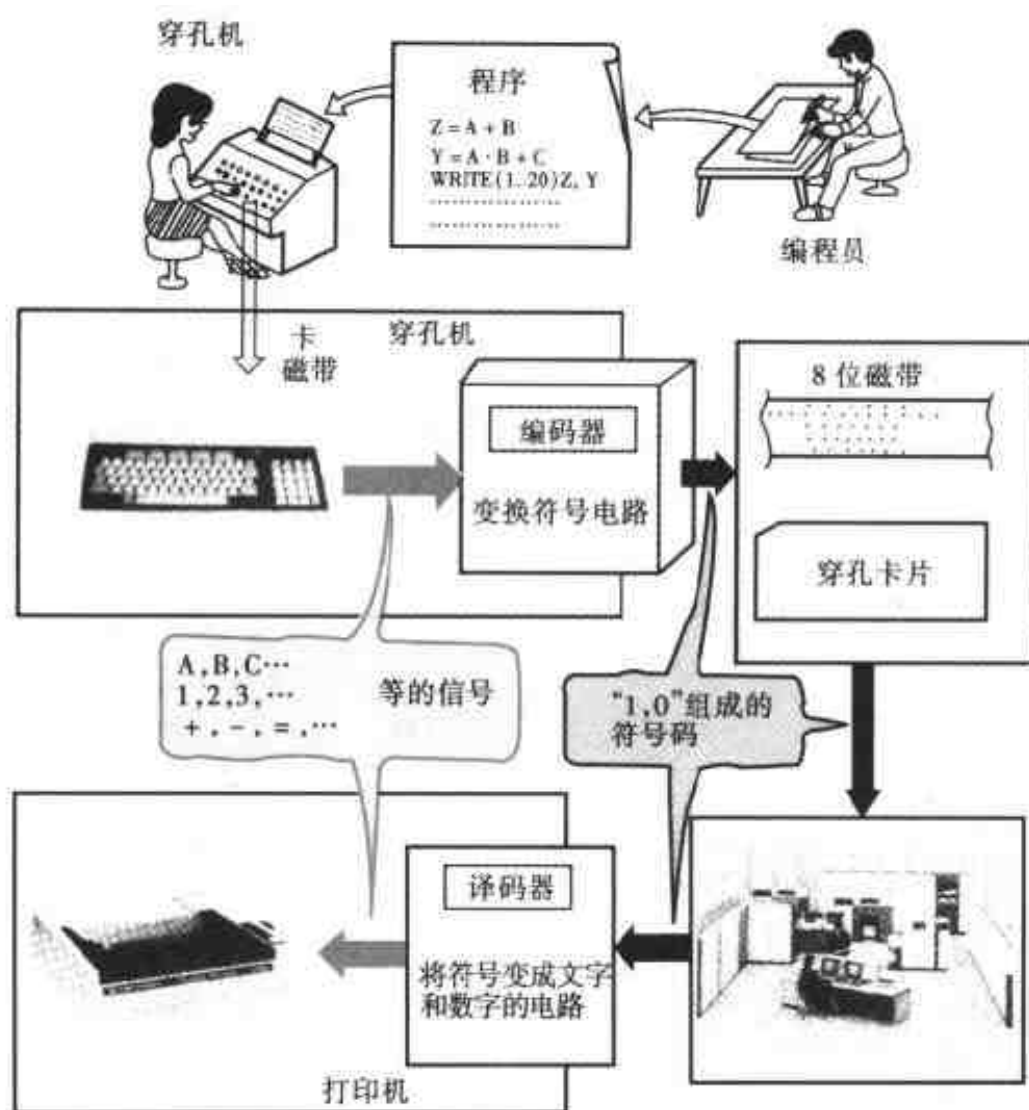


图 6.5 编码器、译码器都是翻译

### 6.2.1 数值与文字的符号化

在计算器和电子计算机等的数字电路中,应用相当于“1与0”的电气信号,来表现处理所有的信息。因此,如图 6.5 所示,从计算机的键盘上输入的程序是,将“ABC...”和“1 2 3...”或者“十一 = \* ...”等的这些输入内容变换成所对应的只有“1 和 0”的符号后,才能进行存储和处理。

在图 6.6 中,表示了计算机等所使用的符号(称为码)的 1 个例子。称为 ASCII 码,是由 8 位(1 字节)构成的符号群。

数 字	ASCII 码	字母表	ASCII 码	符 号	ASCII 码
0	1 0 1 1 0 0 0 0	A	1 1 0 0 0 0 0 1	%	1 0 1 0 0 1 0 1
1	1 0 1 1 0 0 0 1	B	1 1 0 0 0 0 1 0	*	1 0 1 0 1 0 1 0
2	1 0 1 1 0 0 1 0	C	1 1 0 0 0 0 1 1	+	1 0 1 0 1 0 1 1
3	1 0 1 1 0 0 1 1	D	1 1 0 0 0 1 0 0	,	1 0 1 0 1 1 0 0
4	1 0 1 1 0 1 0 0	⋮	⋮	-	1 0 1 0 1 1 0 1
5	1 0 1 1 0 1 0 1	⋮	⋮	/	1 0 1 0 1 1 1 1
6	1 0 1 1 0 1 1 0	⋮	⋮	:	1 0 1 1 1 0 1 1
7	1 0 1 1 0 1 1 1	X	1 1 0 1 1 0 0 0	=	1 0 1 1 1 1 0 1
8	1 0 1 1 1 0 0 0	Y	1 1 0 1 1 0 0 1	⋮	⋮
9	1 0 1 1 1 0 0 1	Z	1 1 0 1 1 0 1 0	⋮	⋮

数字的这个部分全部相同

字母表的这个部分全部相同

符号的这个部分相同

图 6.6 计算机内所处理的符号例子(ASCII 码)

这样，将字母表和数字等的信号符号化的电路，设置在数字电路的输入部分，称为**编码器(符号器)**。

另外，将这些“1 和 0”的符号变回成 A, B, C, 或 10 进制数等的电路，将是 6.4 节中学习的**译码器(解读器)**。译码器设置在数字电路中的输出部分。

### 6.2.2 从 10 进制→2 进制编码器的电路例子

图 6.7 是表示电子计算器的方块图。从数字键输入的 10 进制信号，通过编码器变化为 2 进制符号。计算机处理后，通过译码器再次变为 10 进制，送到显示管上。

编码器如图 6.8 所示。一般，将一个输入信号，变成有多个脉冲组成符号后，再将它作为信号输出。

图 6.9(a) 是 10 进制数变为 2 进制数的编码器电路的例子。在这个图中，表示了输入“5”时的输出码。电路只用二极管组成，是一个简单的电路，对比一下图 6.9(b) 所示的真值表和二极管的位置，就马上可以理解了。

这里，A、B、C…和 +、- 等符号的代码化的编码器也可以用同样的考虑方法。图 6.10 中表示了将字母表变换成 ASCII 码的电路的一部分。对比一下图 6.6 的 ASCII 表就清楚了。

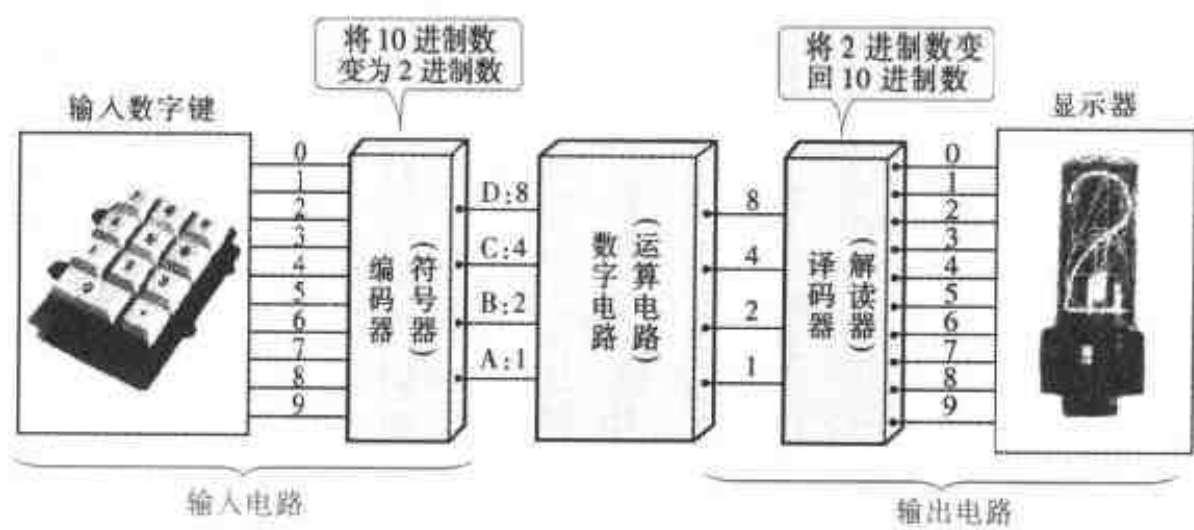


图 6.7 数字电路(电子计算器)的输入及输出部分

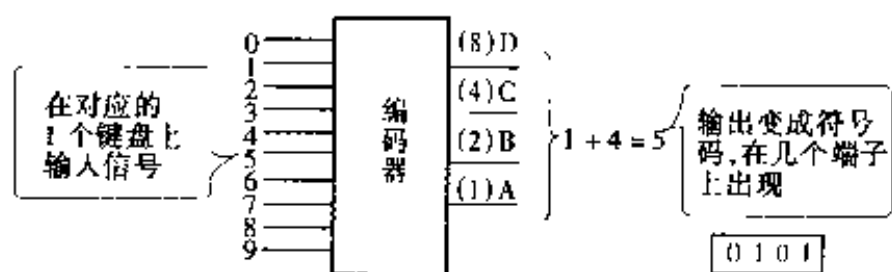


图 6.8 编码器的作用(特征)

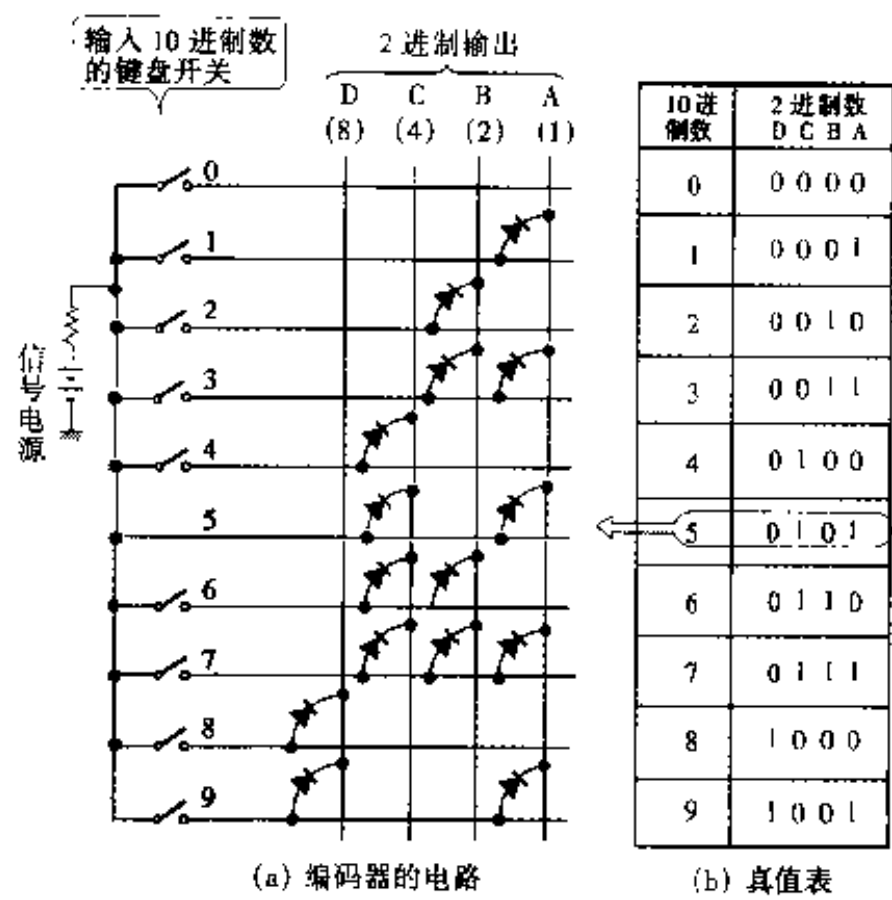


图 6.9 10 进制→2 进制编码器的电路例子

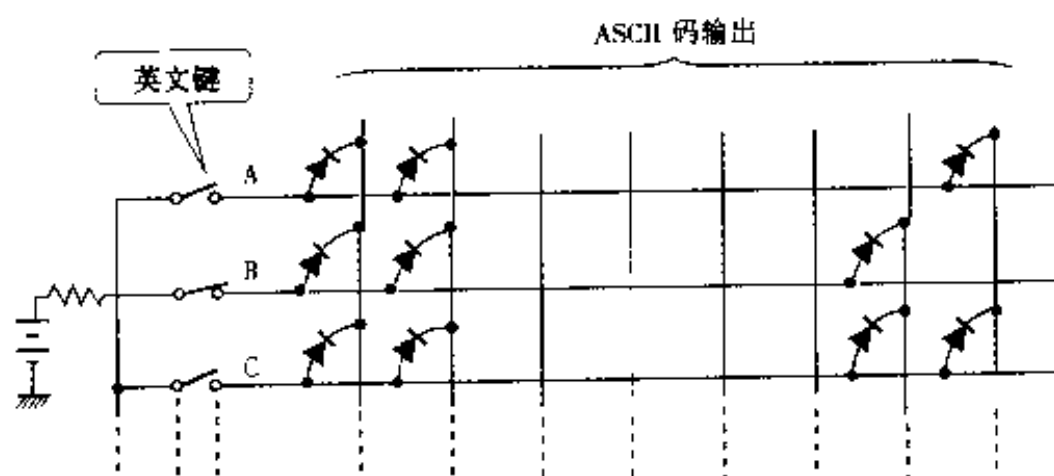


图 6.10 制作 ASCII 码的编码器例子

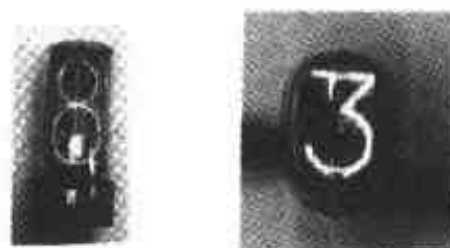
## 6.3 显示器



(a) 人和电子计算器之间信息的交流



(b) 电子计算器的显示器  
(卡西欧计算机(株)提供)



(a) 数字管



(b) 7 段荧光管



(c) 荧光显示器

图 6.11 连结人与数字机器的设备

图 6.12 各种显示器

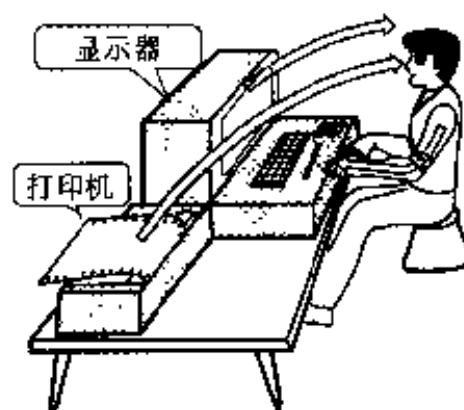


图 6.13 微机的输出设备

### 6.3.1 联系人和数字机器的部件

对于数字机器和计算机,人要给它们指示时,大多是通过开关和键盘等打入数字与文字。打入的数字与文字,用编码器进行代码化再在电路内处理。

相反,在数字机器向人回答时,很多是使用如图 6.11、图 6.12、图 6.13 所示的显示部件。

数字电路中所处理的信号(2 进制码,由 ASCII 码等组成内容),通过下面要学习的译码器,将信息变成显示信号(或输出信号)再送到显示器上。

作为数字和文字等显示的主要显示器中有数字管、7 段荧光管、荧光显示管、液晶显示器等。另外,作为计算机的输出显示用的还经常使用打印机和屏幕显示器。

### 6.3.2 放电显示管(数字管)

数字显示管中有一种为数字管。如图 6.14 所示,它有 0~9 的数字形状的阴极及其背后的阳极板,里面封入氖气。

其工作时,选择数字形状的阴极中的一极,让它接地,则这个阴极通过库仑放电发出桔红色的光,显示数字。

选择电极的开关是通过晶体管开关动作来进行。

### 6.3.3 7 段荧光管(LED)

(a) 7 段显示法 7 段是指“部分”或“区域”的意义,显示

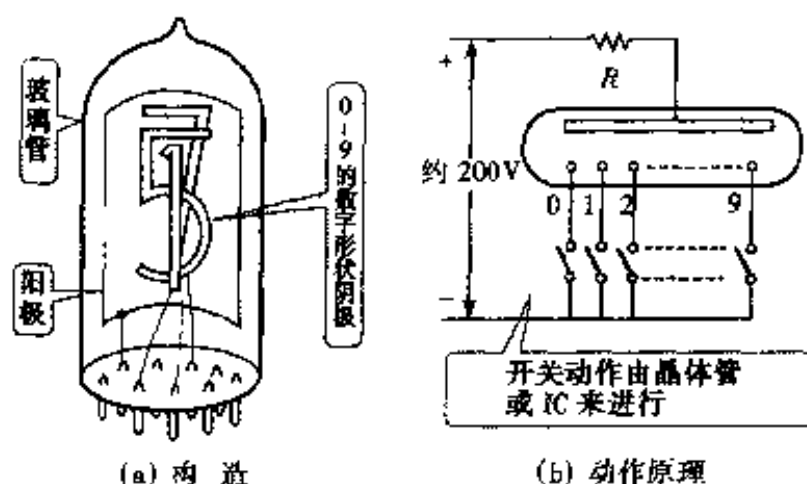


图 6.14 数字管的构造与工作原理



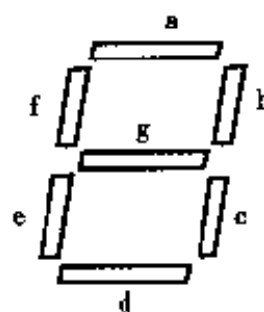
部分是 7 段组成的,称之为 7 段显示器。7 区域的显示部分是如图 6.15(b)所示的配置,各个独立地发光或者变色。

将 a~g 的各个部分,如图 6.15(a)那样选择,使之发光,则可以显示出 0~9 的各个数字。

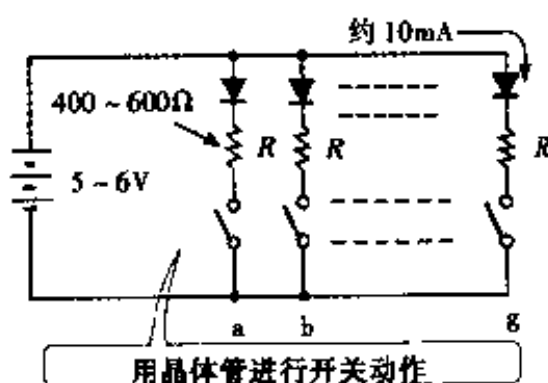
(b) 发光二极管(LED) LED 是取 Light Emitting Diode 的 3 个初始字母组成。LED 的 1 个区域,在正方向约流过 10mA 电流,发出光亮,颜色大多为红色,将这些用 7 组(如图 6.15(c))连接起来,可以显示数字。

数字	7 个区域						
	a	b	c	d	e	f	g
0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	1	1	0	0	0	0
2	1	1	0	1	1	0	1
3	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	1	0	0	1	1
5	1	0	1	1	0	1	1
6	1	0	1	1	1	1	1
7	1	1	1	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	0	0	1	1

(a) 为显示各种数字各个区域的选择表(真值表)



(b) 7 段显示器



(c) 7 段荧光管

图 6.15 7 段荧光管的发光方法

#### 6.3.4 液晶显示器(LCD)

LCD 是取 Liquid Crystal Display 的初始字母,7 段的 LCD 使用在手表等的显示上。相对于发光二极管和荧光显示管发光时,要消耗相当大的功率而言,液晶显示器因为没有电流流动,消耗的功率相当小。因此,手表可以用小电池长期工作。但是 LCD 本身不发光,在暗淡地方无法判别(如图 6.16)。

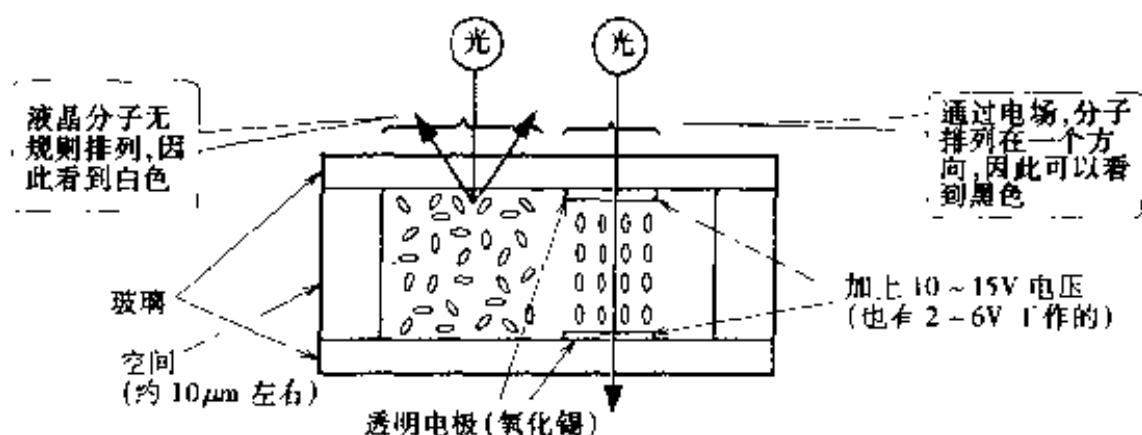


图 6.16 液晶显示器的工作原理的例子

### 6.3.5 荧光显示管

荧光显示管在数字钟表中使用。其工作是从灯丝中发出的热电子,与 7 段构造的阳极发生冲撞,使得其荧光物质发光。

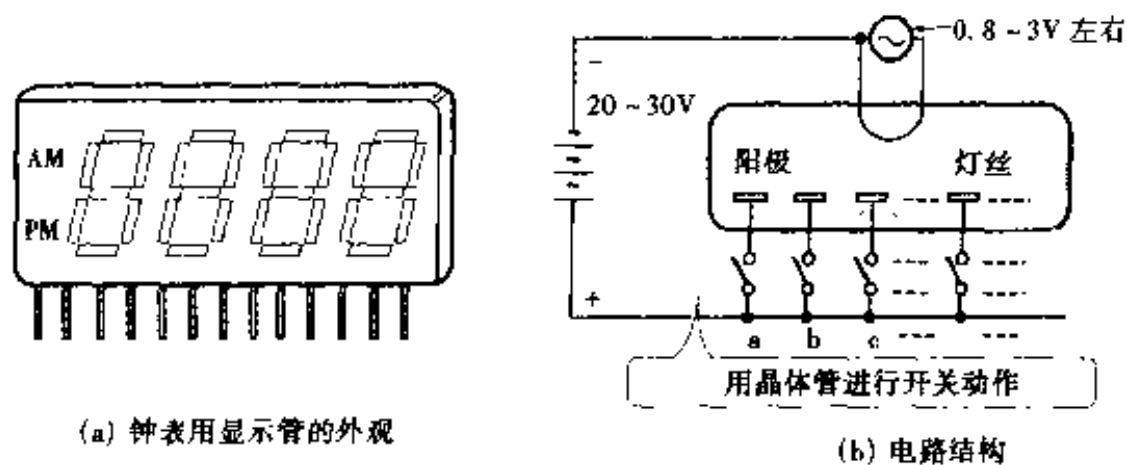


图 6.17 荧光显示管

## 6.4 译码器(解读器)

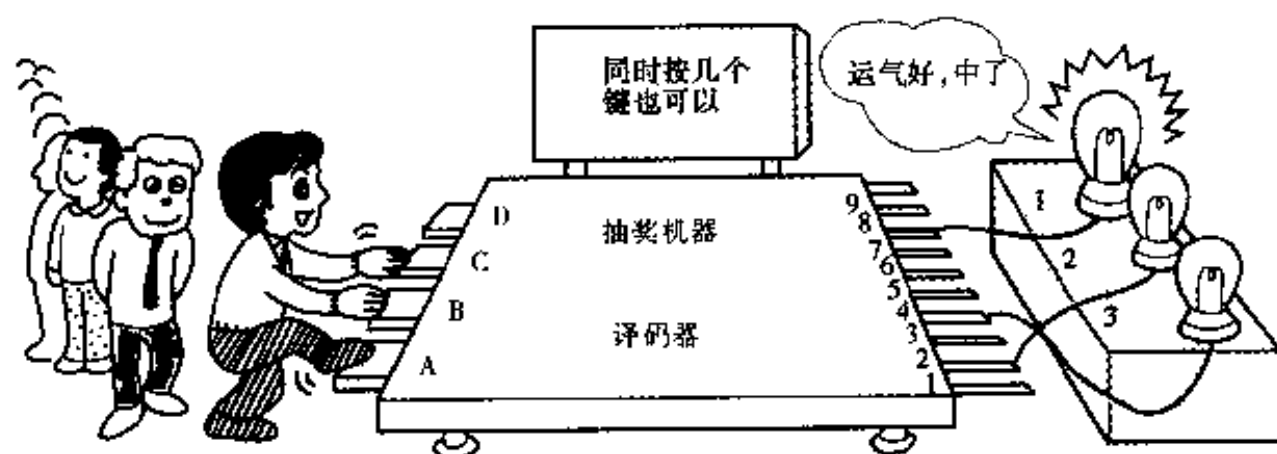


图 6.18 有趣的抽奖机器

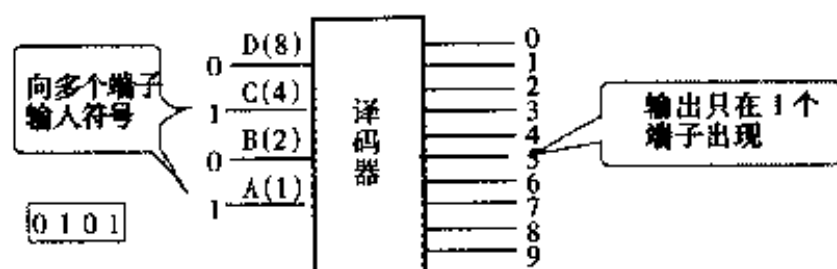


图 6.19 译码器的工作(特征)

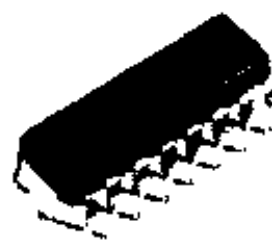


图 6.20 译码器用 IC 的例子

### 6.4.1 2 进制→10 进制译码器

如图 6.5 中所示的那样, 数字电路中的运算输出是 2 进制数。而在第 4 章中学习过的输出也是 2 进制数。

但是, 我们日常生活中是以 10 进制数为基础的, 因此在输出这些运算结果时, 必须将 2 进制变成 10 进制。如图 6.19 所示, 符号(指 2 个以上信号组成)输入后, 得到一个信号的电路即是称为译码器的符号解读器。图 6.21 表示了 2 进制→10 进制译码器的电路例子和真值表。图中以“0110”为输入码, 而输出处出现“6”, 表示了这个过程。

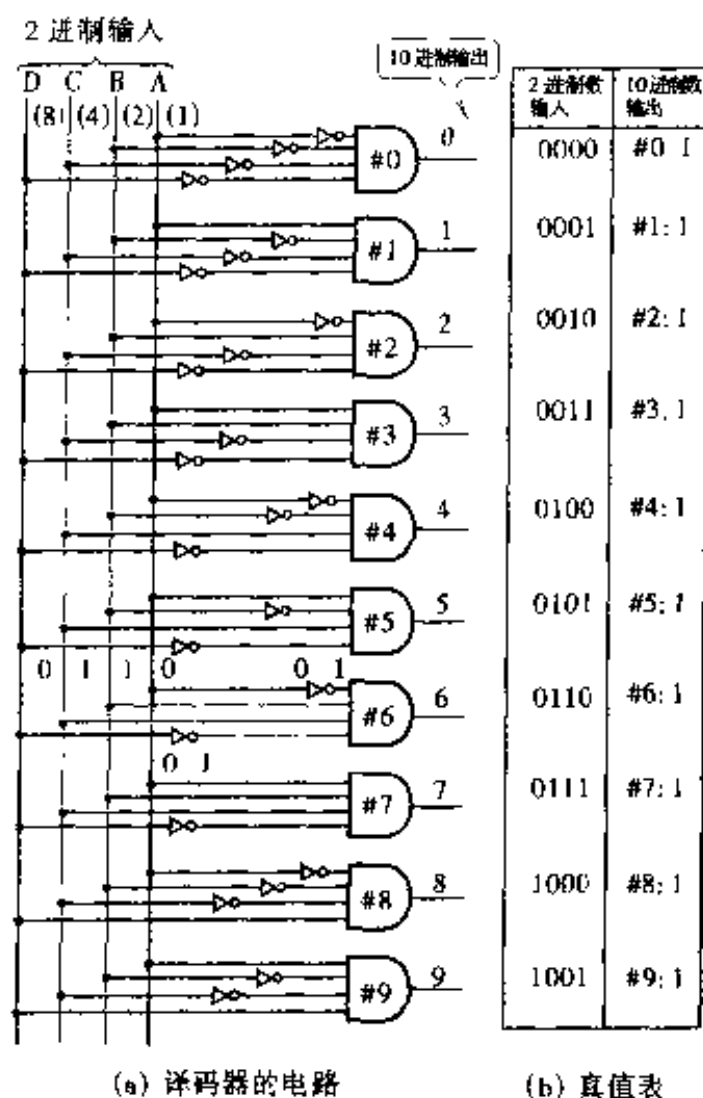


图 6.21 2 进制→10 进制译码器的电路例子

### 6.4.2 译码器用的 IC

相应于图 6.21 所示的译码器中的驱动数字管的电路, 如图 6.22 所示。译码器的输出为 1(H) 时, 请注意这时驱动器(开关

晶体管)的输出为“L”。在这个图中,说明了2进制信号为“0110”,使数字管的电极“6”为接通状况。

实际上,制成电路时,使用将译码器与驱动器组成一体化的译码驱动器 IC 相当方便,而且价格也低。图 6.23 所示为它的实际例子与使用方法。

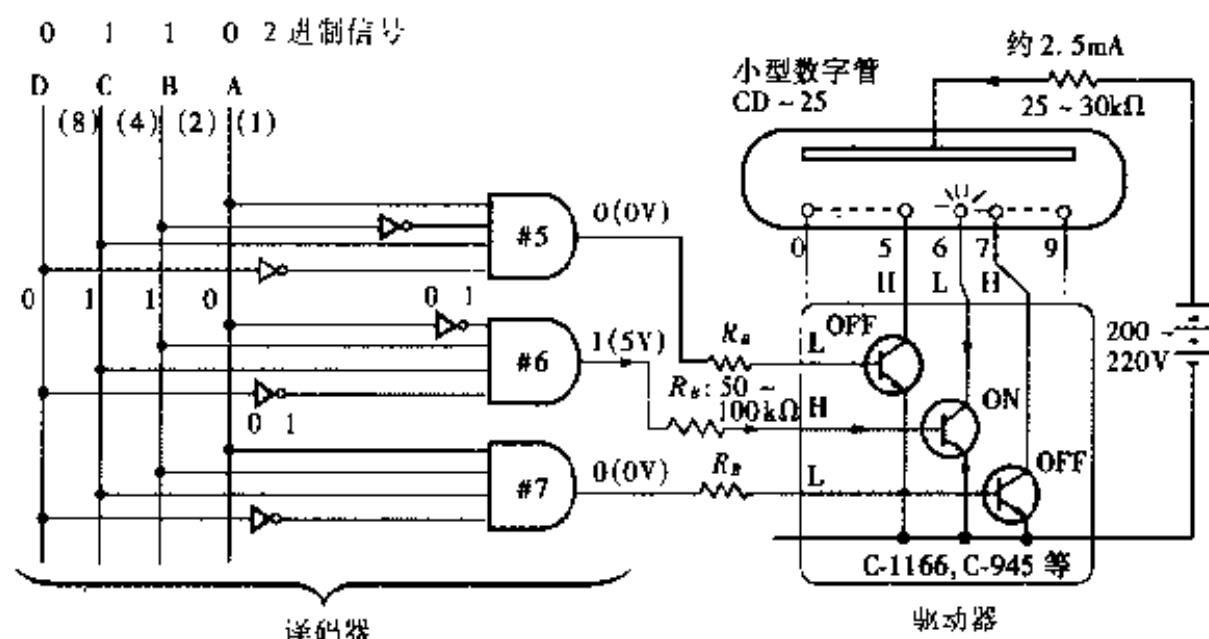


图 6.22 译码器数字管的驱动电路

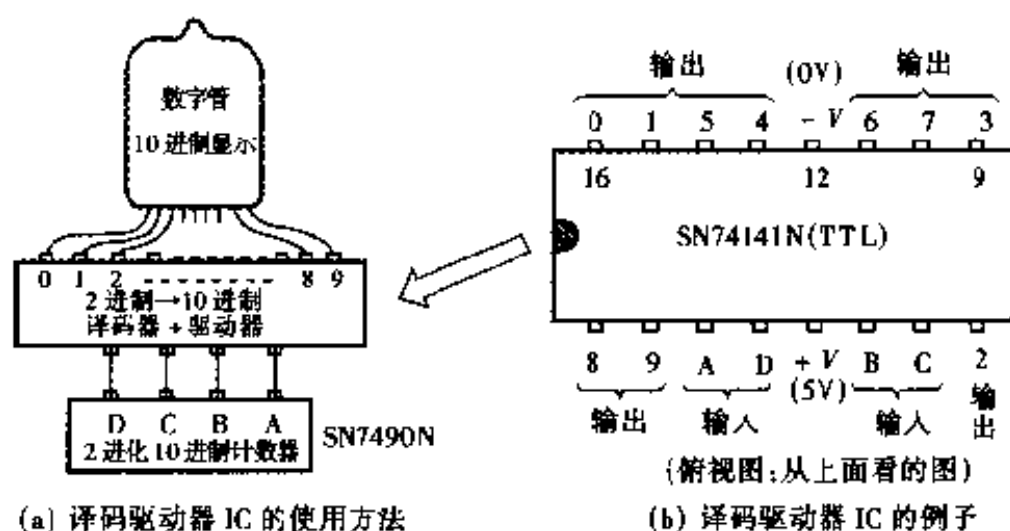


图 6.23 内置驱动器的译码器的实例

### 6.4.3 7 段译码驱动器 IC

用数字管表示数字时,将译码器的输出直接送到驱动器,从数字形状电极(0~9)中选出 1 个,让它发光。

但是在用 7 段荧光显示器时,必须像图 6.15(a) 中所示的真

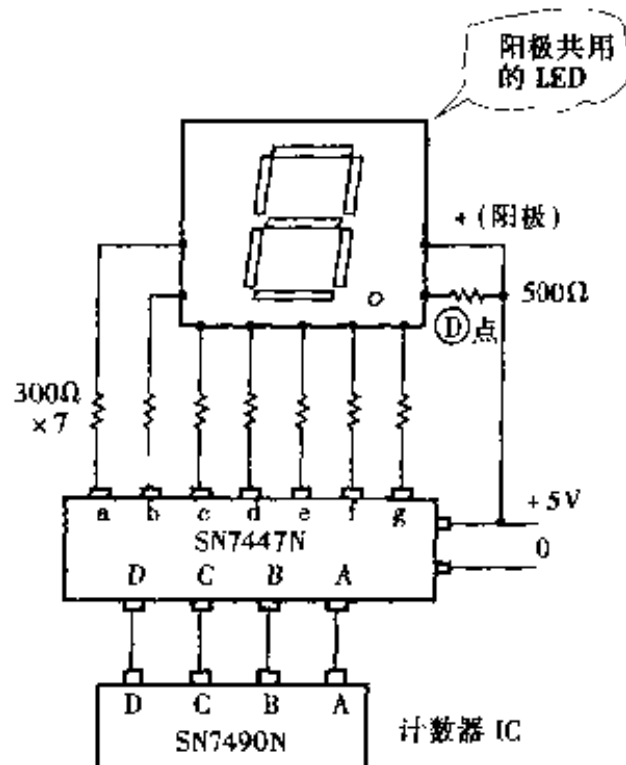
值表那样对译码器的输出进行代码变换。代码变换方法的原理与编码器相同。由于这里所表示的 LED 是共用阳极, 所以是驱动器输出为“1”的段发光(图 6.24(a))。

图 6.24(c) 所示为将译码器输出变换成 7 段代码的同时进行开关动作的电路例子(只表示#6 部分)。

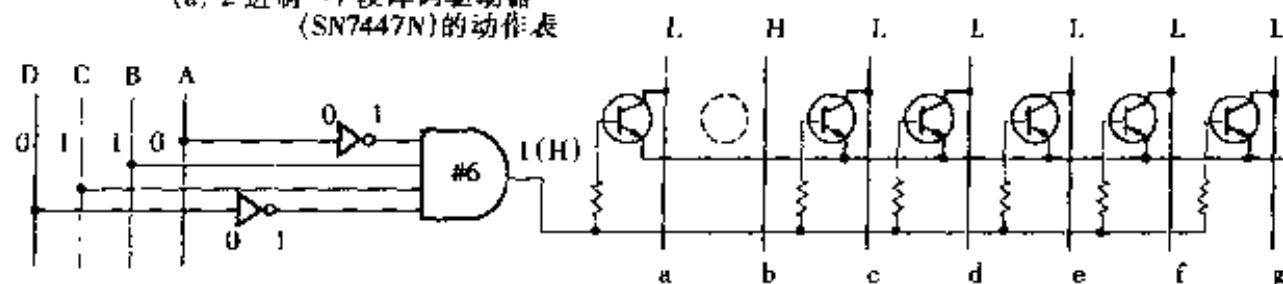
另外, 图 6.24(b) 是用译码驱动器 IC 将 2 进位 10 进制计数器的输出变换成 7 段代码, 使得 LED 发光的电路实例。

数值	译码器输入				译码器输出	7 段荧光管驱动器输出						
	D	C	B	A		a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	#0:1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	#1:1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	1	0	#2:1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	1	1	#3:1	1	1	1	1	1	1	1
4	0	1	0	0	#4:1	1	1	1	1	1	1	1
5	0	1	0	1	#5:1	1	1	1	1	1	1	1
6	0	1	1	0	#6:1	1	1	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	#7:1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	0	0	0	#8:1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	#9:1	1	1	1	1	1	1	1

(a) 2 进制→7 段译码驱动器 (SN7447N) 的动作表



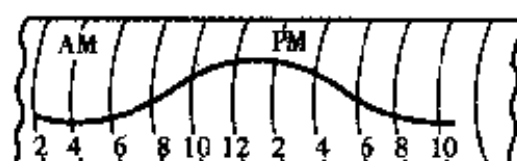
(b) 译码驱动器和 LED 的连接方法



(c) 2 进制→7 段译码驱动器的电路 - 部分(表示“6”的电路)

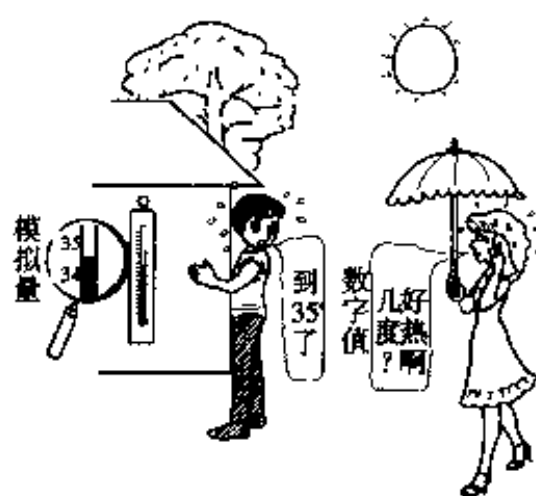
图 6.24 2 进位 10 进制→7 段的译码器兼驱动器

## 6.5 A/D、D/A 转换器



自动温度计记录的1日内气温变化

(a) 气温变化是模拟量



(b) 将模拟量用数字值回答

图 6.25 气温是模拟量,但是显示出数字值

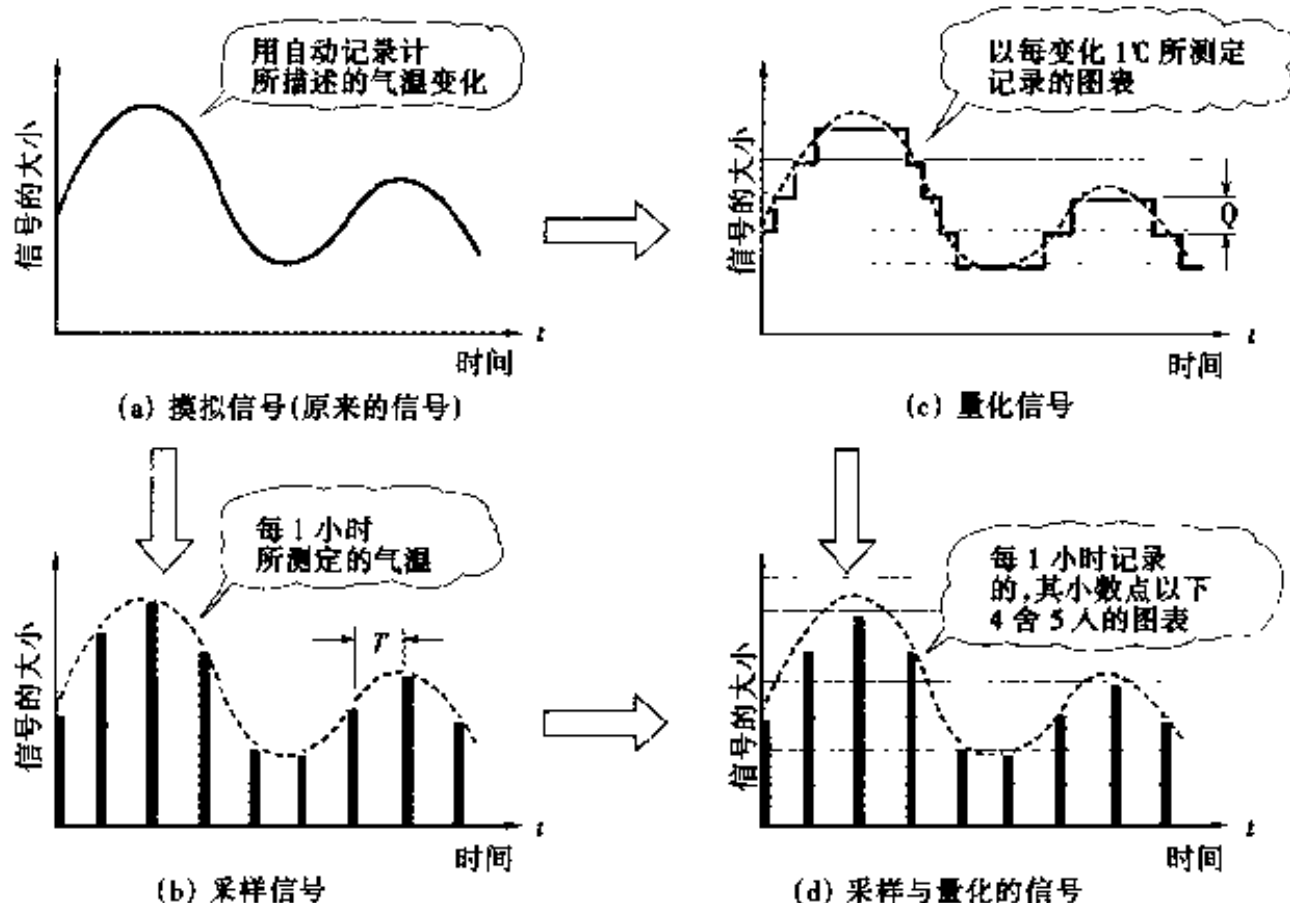


图 6.26 从模拟信号得到数字信号的采样与量化

### 6.5.1 A/D 转换时信号的处理方法

在我们身边的物理量中,温度、压力、时间等是一个连续变化的量,即为**模拟量 A**。与此相对应,车站的检票处在一定时间内所通过的人数与货物的价格等是离散的、不连续的数值,即为**数字量 D**。

但是,在我们的日常生活中,如图 6.25(b) 所示,经常下意识地**进行模拟→数字转换(A→D 转换)**。

将连续变化的模拟量变化为数字量,首先要在适当时间间隔上取出信号,即**采样**。在图 6.26 中,如果每隔 1 小时测量一下气温,这就是采样。接着,将取出的信号适当地四舍五入记录下来,这是**量化**。图 6.26 中,舍去小数点以下数值,以“1℃ 间隔”为单位记录下来,则量化单位  $Q=1$ 。

A/D 转换一般是将模拟信号采样,然后进行量化。

### 6.5.2 转换器

对温度、压力、流量等的物理量用数字机器测量,用计算机处理时,有必要将模拟量变为数字量。为此而使用的电路为**A/D 变换器**。另外,将数字计测和数值计算的结果转换成模拟量的电路是**D/A 转换器**。

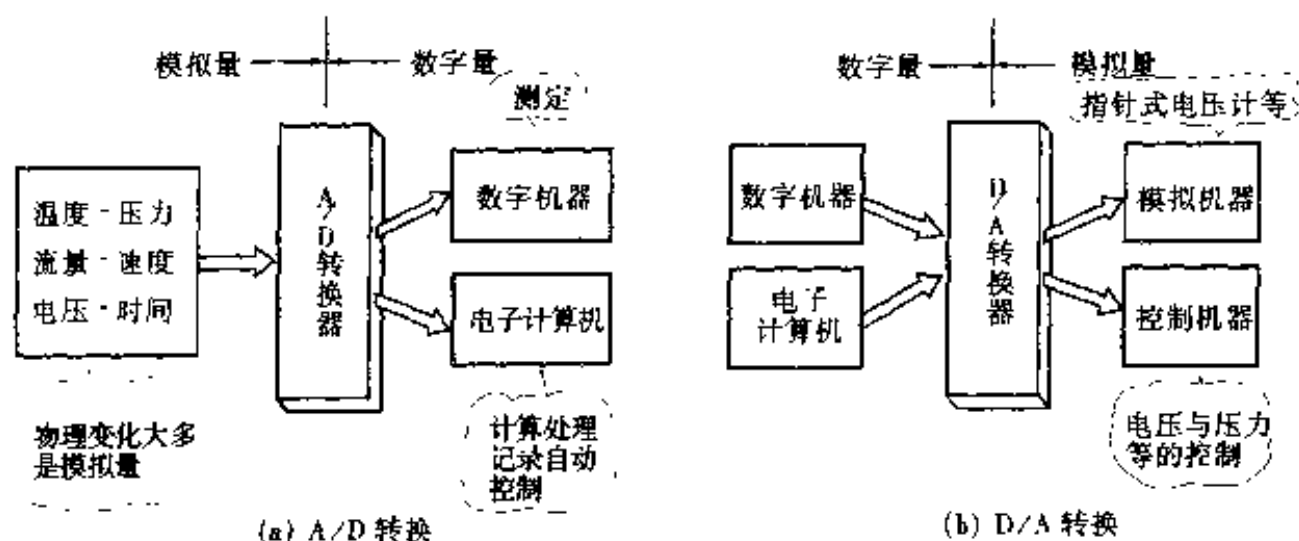


图 6.27 模拟量与数字量之间的转换



### 6.5.3 D/A 转换器

本来应先说明 A/D 转换器的原理,再说明 D/A 转换器,由于下列原因,这里先说明 D/A 转换器。

- ① D/A 转换器的电路与工作原理比 A/D 转换器简单。
- ② 在 A/D 转换器,作为反馈电路,包含有 D/A 转换器。

D/A 转换器中,经常应用的电路是如图 6.28 所示的梯形转换电路。该电路中所使用的电阻为  $R(\Omega)$  与  $2R(\Omega)$  2 种,所以很容易做成多位、高精度的转换器。

图 6.28(a)是表示其工作原理的电路。实际上,图 6.28(b)中所示的计数器电路和图 6.28(c)所示的寄存器(在第 7 章中讲述)的触发器电路作用与图 6.28(a)的开关功能相同。

该电路的输出电压  $V_o$ (模拟量),与 2 进制数值的输入成比例

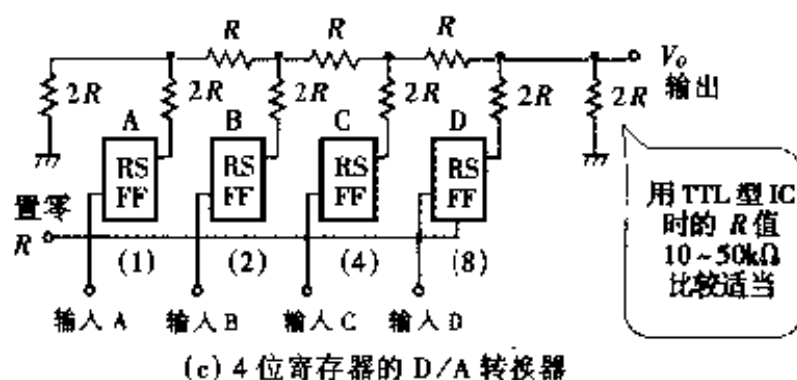
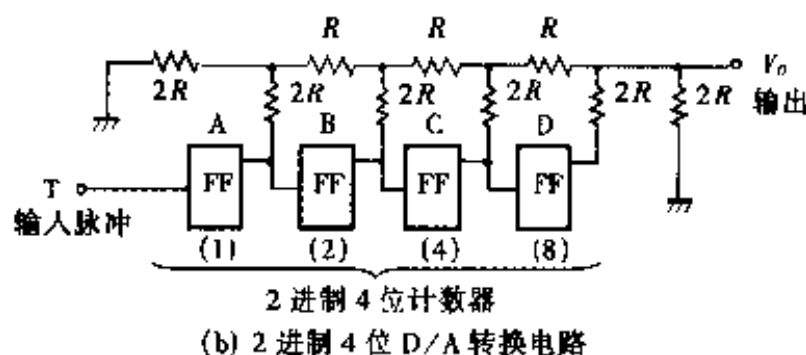
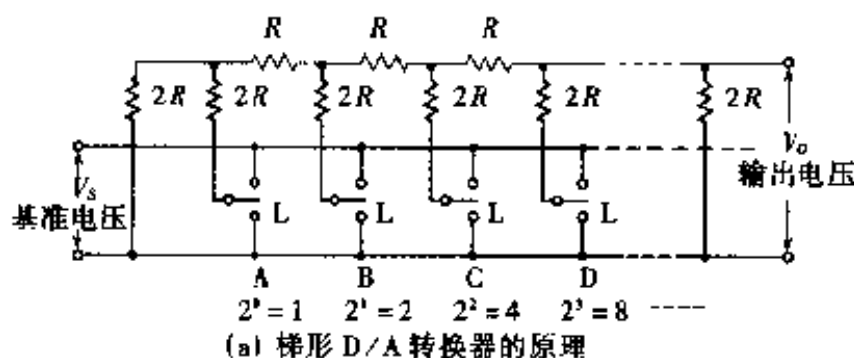


图 6.28 梯形 D/A 转换器

变化。因此,计数器或寄存器的位数越增加,转换成的模拟量越光滑(因为量化的基准单位变小)。

#### 6.5.4 电压-时间转换的 A/D 转换器

温度和压力等的物理量经常可以用各种传感器,通过测量电压来测定。这里,作为 A/D 转换器的代表性例子,说明“电压-时间”转换以及“电压 $\rightarrow$ 2 进制码”的转换电路的工作原理。

图 6.29 是电压 $\rightarrow$ 时间转换电路的方框图。电路 A 是自举电路,产生与触发脉冲保持良好同步的线性好的锯齿波。

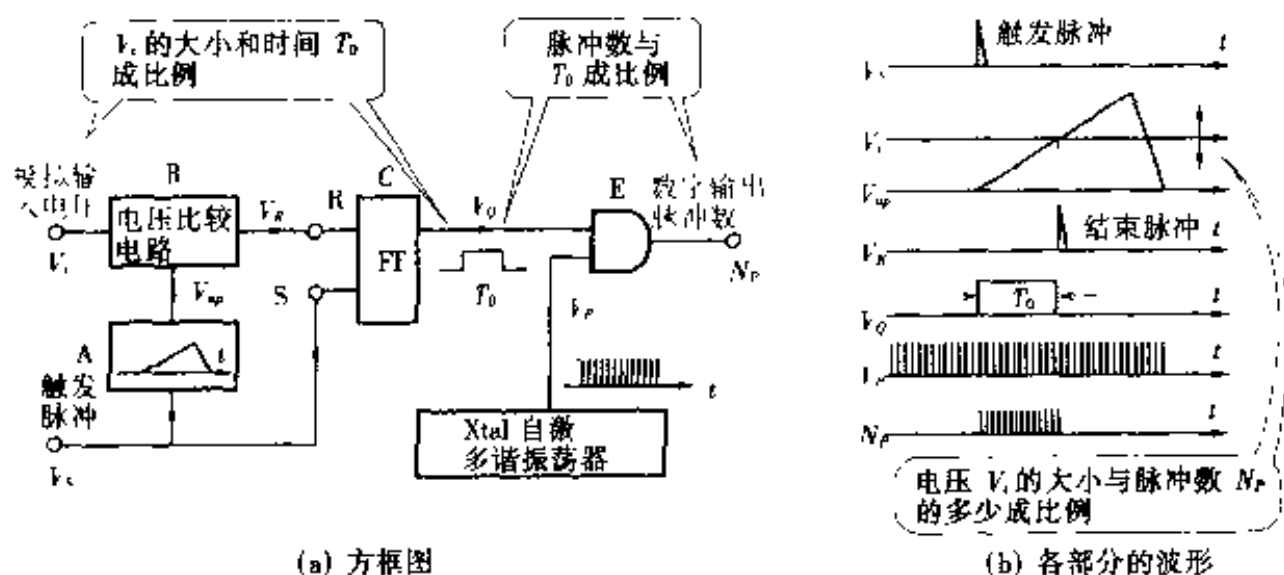


图 6.29 电压 $\rightarrow$ 时间 A/D 转换的原理图和各部分的波形

电路 B 是“施密特电路”,  $V_i = V_{up}$  时, 输出脉冲电压  $V_R$ 。

电路 C 是 RS 触发器, 输入  $V_S$  时输出为“1”,  $V_R$  时回到“0”。

电路 E 是只有在  $T_0$  期间门电路打开, 通过比例于  $V_i$  的数量脉冲。

#### 6.5.5 逐次比较型 A/D 转换器

图 6.29 的转换电路, 经过了电压 $\rightarrow$ 时间 $\rightarrow$ 脉冲数 $\rightarrow$ 2 进制码(计数器)的过程, 进行 A/D 转换。对此, 图 6.30 的逐次转换电路是将输入电压直接变换为 2 进制代码。图中的比较电路在  $V_i \geq V_d$  时  $SA = 0$ ,  $V_i < V_d$  时  $SA = 1$ 。电路的工作, 重复以下的三个步骤

① 触发器设置为 1。

② 触发器所设置的值通过 D/A 转换电路转换成  $V_d$ , 与  $V_i$  进行比较。

③  $V_i < V_d$  时, 触发器置为 0。

图 6.31 是表示脉冲电压  $V_p$  随着通过一个个延迟电路, 使上面所说的 3 步骤的工作逐步从高位向低位移动。随着  $V_p$  的移动, 输入电压  $V_i$  (模拟量) 作为数字值设置到触发器中。

最后存储在触发器中的“数字量”, 依靠通过延迟电路 T16 的脉冲  $V_p$ , 打开门电路, 进行输出。

在 A/D 转换时, 采样的时间间隔非常短时, 必须使脉冲  $V_p$  通过延迟电路的时间缩短。另外, 量化的基本单位也要变小, 所以必须增加位数(bit)。

在实际的电路中, A/D、D/A 转换器使用 IC。

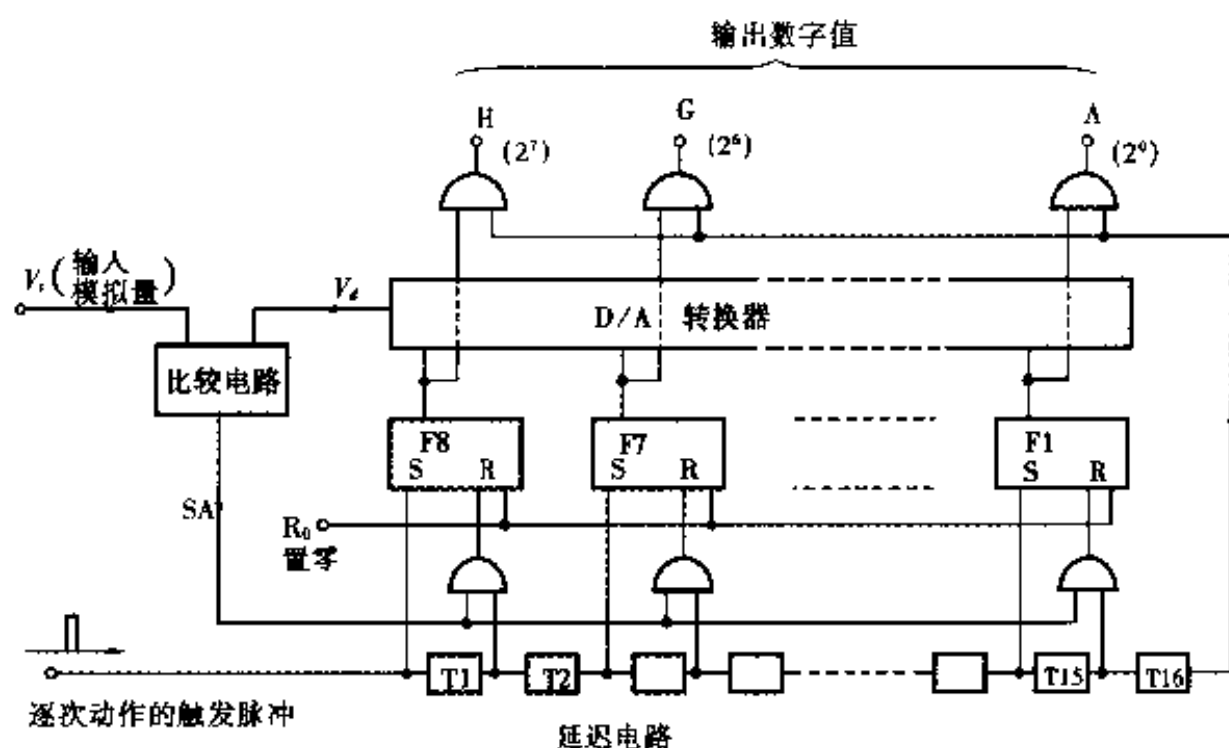


图 6.30 逐次比较型 A/D 转换器(8 位的例)

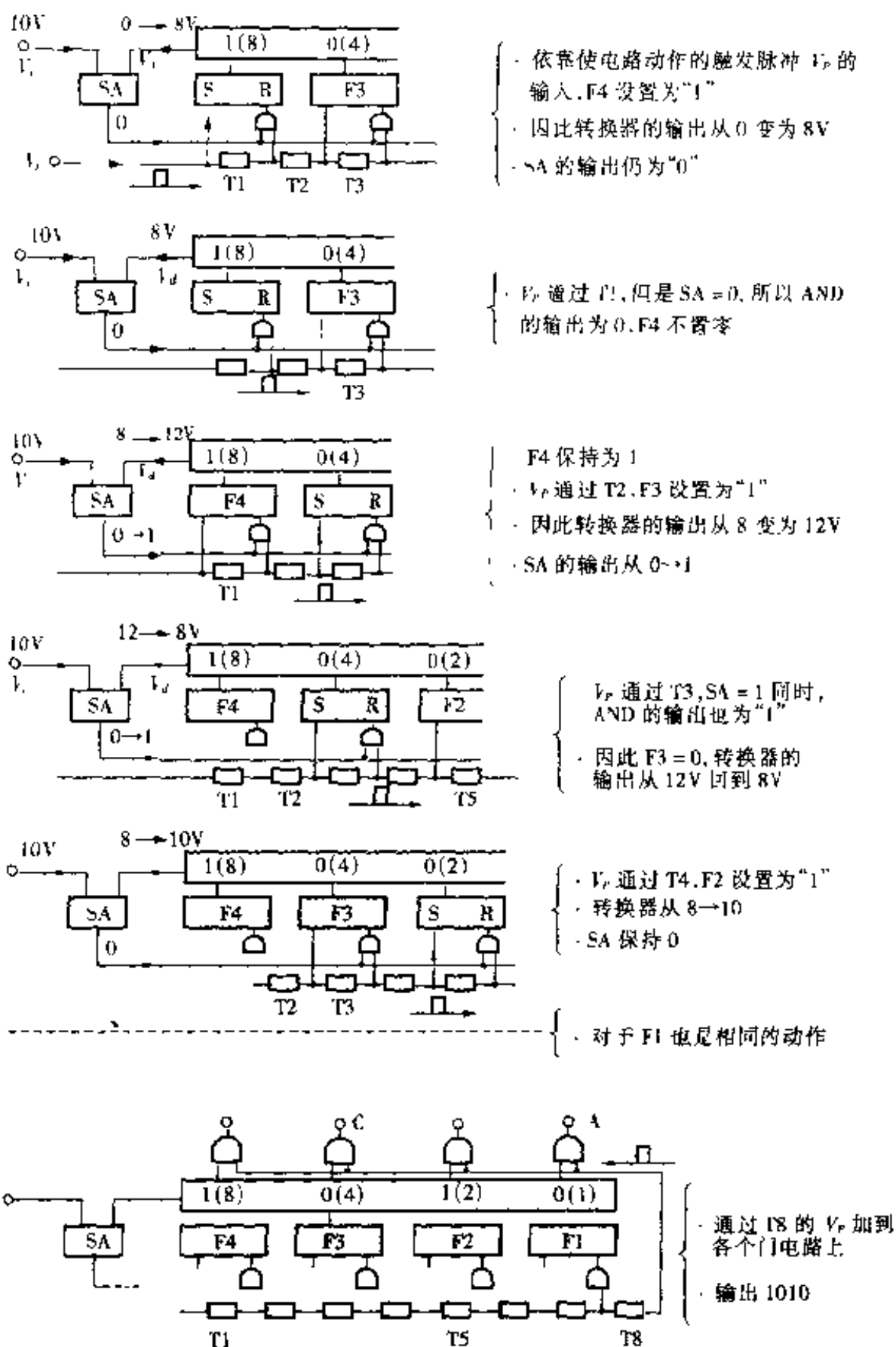


图 6.31 逐次比较型 A/D 转换器的工作(4 位的例)

## 本章小结

- “1 位”是信息的最小单位,只是表现“白或黑”、“是与非”等 2 种的信息
- “1 字节”为 8 位,可以表示  $2^8 = 256$  种的信息。
- 为了处理、存储、传输,将数字与文字,通过电子机器进行符号化(编码)的方法效率更高。
- 将符号化的数字与文字,转换成可以显示的信号是解读器(译码器)。
- 电子机器内处理的信号,为使人们能够接受,必须通过 7 段荧光管、荧光显示器等将数字与文字显示出来。
- 开关显示器电路中电流流动的电路称为驱动器。
- 为了要将温度和压力等模拟量由数字机器来处理,必须通过 A/D 转换器,进行信号转换。
- 将数字信号转换成模拟信号的是 D/A 转换器。

# VII

## 探索计算机的内部

---

计算机能做很多人们做不到的事情,这一点已经众所周知,实际上看它的内部结构,只不过是电气上巧妙地自动地运行只有0或1的2个状态而已。前面所学到的数字电路也就是这样的东西,逻辑电路等也是以此目的而通过很复杂的连接起来的电路。

这里对于计算机中所使用的寄存器和存储器等进行学习,而且简单地涉及到整体上如何构造才能发挥计算机的功能的内容。

## 7.1 寄存器电路

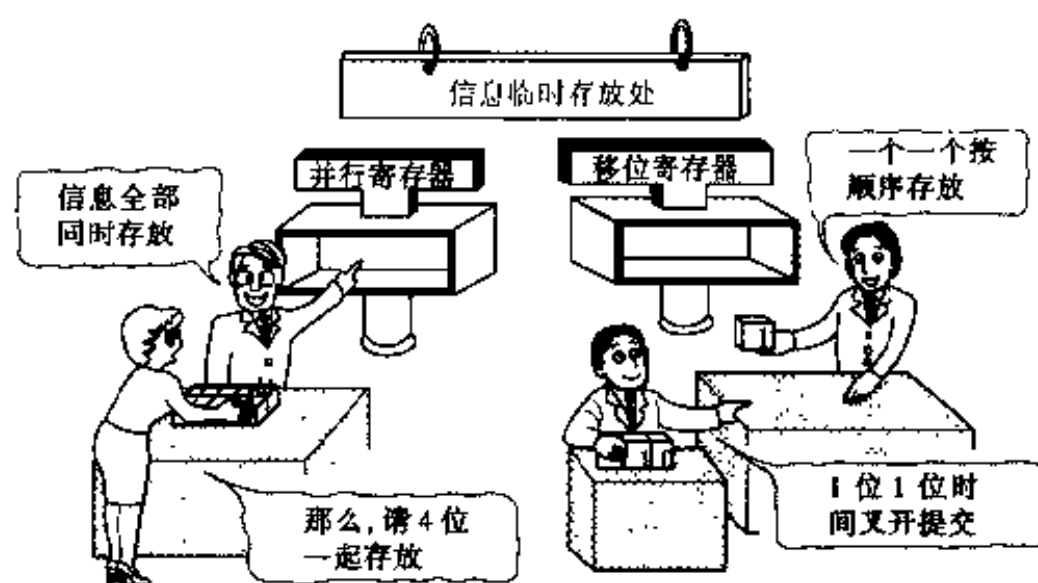


图 7.1 信息存放方法

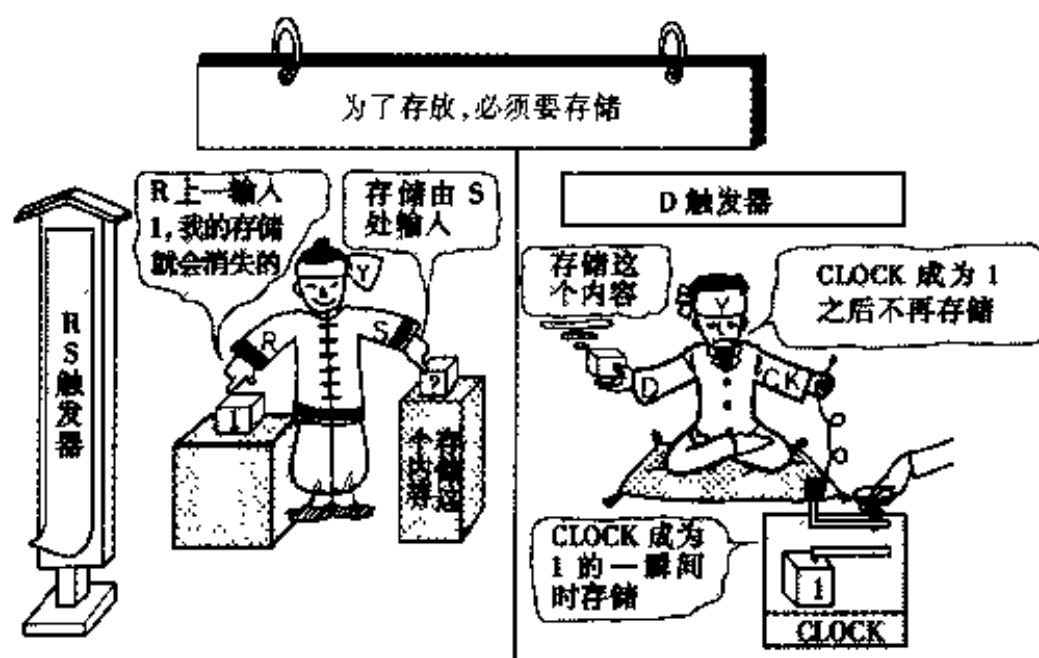


图 7.2 存储的方法

将计数结果和计算结果,或从存储电路取出的数据等进行临时保存的电路是寄存器。保存数据的意义与存储电路相同,基本上是触发器与门电路的组合。

信息的输入方法有所有位数同时输入的并行寄存器和 1 位 1 位又开时间输入的移位寄存器(如图 7.2、图 7.3)。

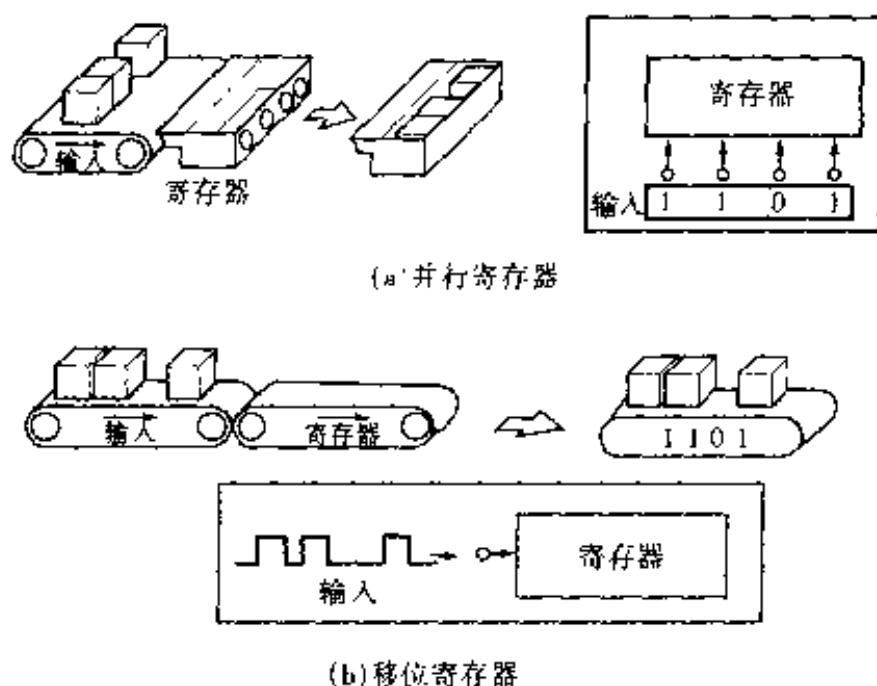


图 7.3 并行寄存器和移位寄存器

### 7.1.1 并行寄存器

图 7.4 是应用于寄存器的 RS 触发器。S 是设置、R 是清零的意思。 $S=0, R=1$  时  $Y=0$ ;  $S=1, R=0$  时  $Y=1$ 。  $S=0, R=0$  时, 则

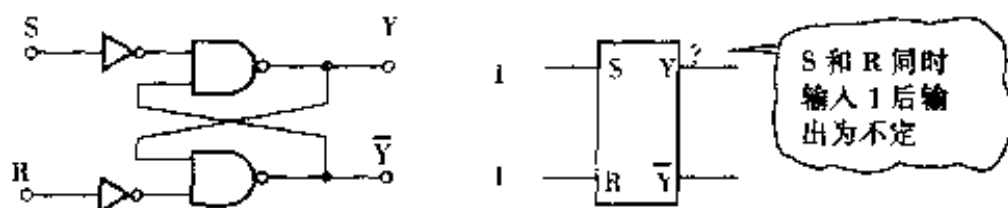


图 7.4 RS 触发器

保持上一个状态。

图 7.5 是利用 RS 触发器的 1 位寄存器, 工作如下:

① 首先清零脉冲为 1, RS 触发器的内容必须为零。这时, 写入脉冲为零时, 寄存器的输入不管是 0 或 1, 输出为零。



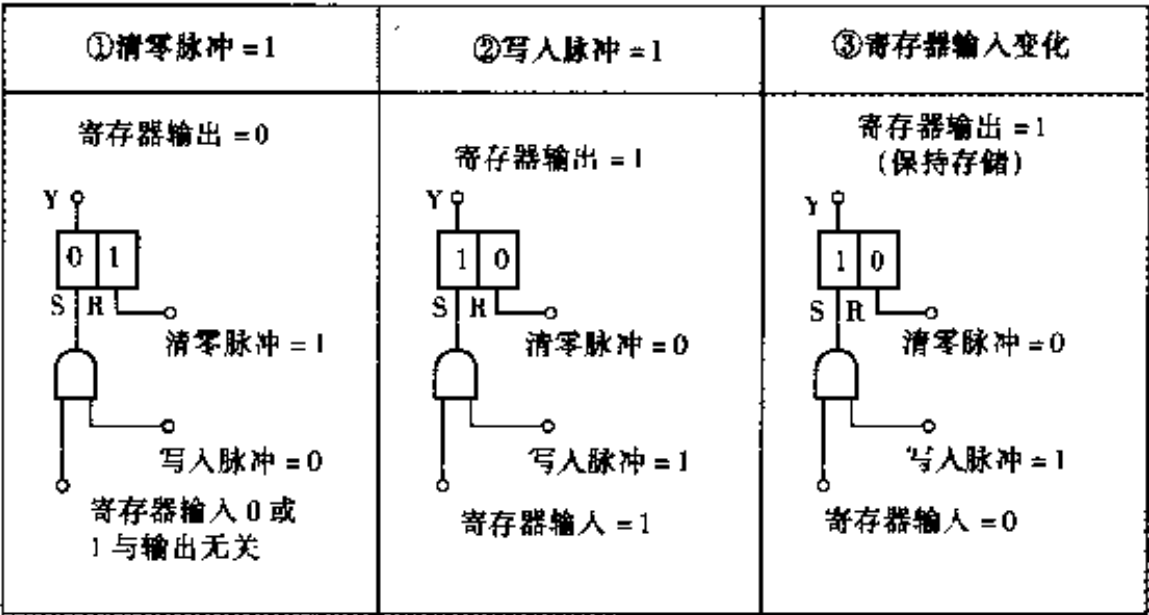


图 7.5 利用 RS 触发器的 1 位寄存器

② 接着, 写入脉冲为 1 情况下, 当寄存器输入为 1 时, AND 的输出 = 1, RS 触发器置 1, 被存储下来。寄存器的输入 = 0 时, AND 输出 = 0, RS 触发器无任何动作。也即这时与存储 0 的情况相同。

③ 寄存器中存储的内容, 在清零脉冲和输入脉冲为 0 时, 保持原状。

要存储新的内容到寄存器时, 必须进行清零。这与存储 0 时, RS 触发器没有任何动作, 保持前一个状态, 即保持清零状态而存储 0 的结果相同。

图 7.6 称为 D 触发器, 在寄存器中经常使用。要存储的信息输入到 D 端子。研究其工作原理时, 首先假定 A 和 B 是 0 或是 1, 即可得出结论。

工作如表 7.1 所示。CLEAR 是清除存储的信号, 输入 0 时, 输出为 0。除了 CLEAR 以外, 一般都置 1, 存储输入 D 的状态是在 CLEAR 从 0 变成 1 的瞬间。因此, 如表 7.1 的 3 个工作顺序, 在 **CLOCK** 已经成为 1 之后, D 即使为 1, 其内容也不被存储。而且, 存储的内容在 **CLOCK** 成为新的 1 输入期间一直保持着。

图 7.7 是 4 位计数器、寄存器、译码器和 7 段荧光管显示器组成的电路。工作过程如下:

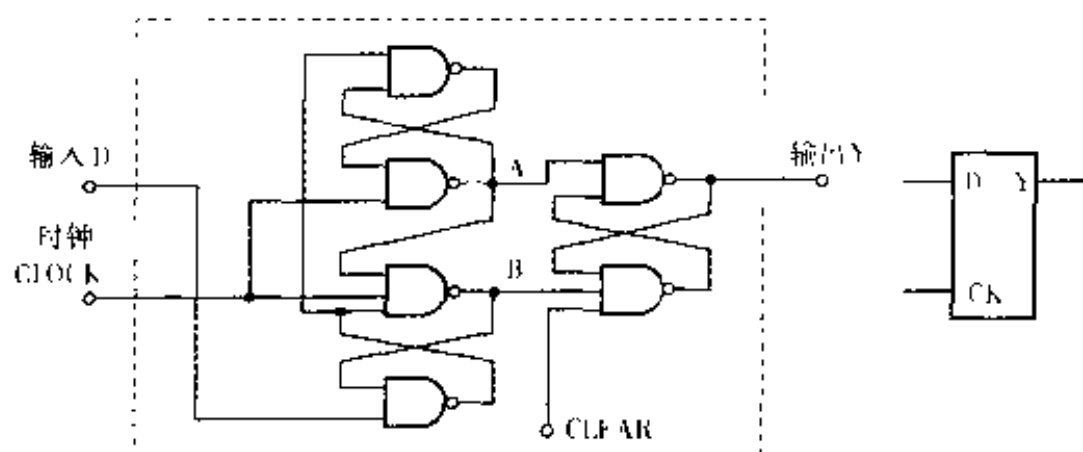
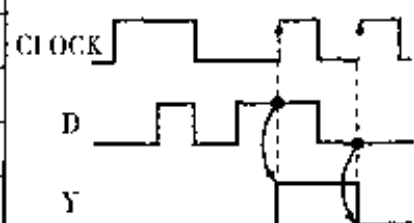


图 7.6 D 触发器

表 7.1 D 触发器的真值表

工作顺序	1	2	3	4	5	6	7	8
CLEAR	0	1	1	1	1	1	1	1
CLOCK	0	1	1	0	0	1	0	1
输入 D	0	0	1	0	1	1	0	0
A	1	1	1	1	1	0	1	1
B	1	0	0	1	1	1	1	0
Y	0	0	0	0	0	1	1	0



CLOCK 为 1 的瞬间，D 的内容被存储下来

- ① 计数器清零 CLOCK 为 1。
- ② 寄存器存储内容清零，显示也为零。
- ③ 计数器输入脉冲，进行计数。这时，计数器的输出不断变化着，但只要 CLOCK 不为 1，寄存器的内容不变化，所以，显示器依然显示为 0。

④ 计数器计数一结束，CLOCK 置 1。其瞬间，寄存器存储并保存与计数器输出相同的内容。因此，计数器显示其输出内容。

⑤ 显示新的计数器内容时，是在计数结束之前让它显示以前的内容，而在计数结束后，将 CLOCK 置 1 即可。

这样，寄存器的内容在 CLOCK 输入为 1 之前，保持以前的状态，不显示计数过程，在新的计数结束之前，继续显示前面内容。如果计数的显示经常变化时，使人眼花缭乱，无法读到计数结果，特别像测定频率那样，多次重复测定和显示时，使用并行寄存器是很有效的。

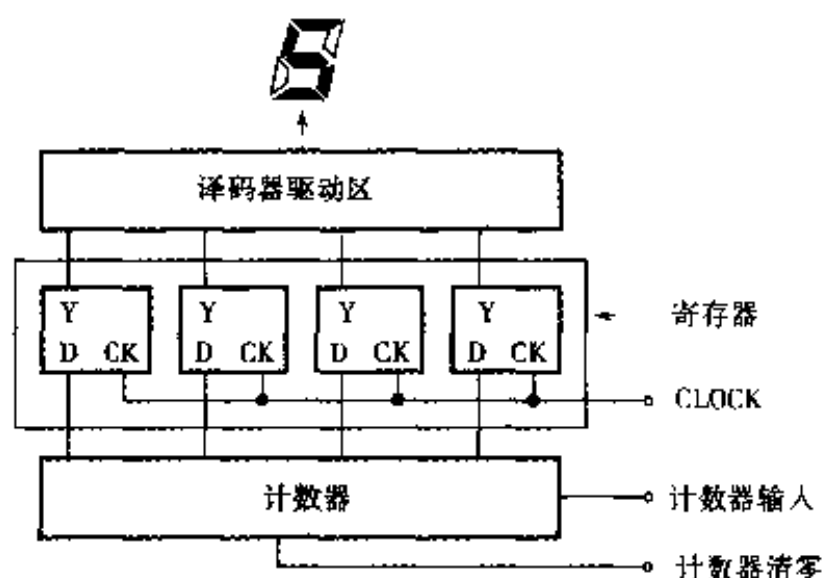


图 7.7 使用寄存器的计数器

### 7.1.2 移位寄存器

图 7.8 是 4 个 D 触发器串联的电路。左边的输入 D 按 1101 的顺序输入时,在每次 CLOCK 从 0 变为 1 情况下,其各个寄存器存储前一个触发器的状态,所以如图 7.9 所示存储的内容从左向右移动。看一下输入 4 个 CLOCK 时各寄存器的内容,则输入端 D 输入数据的最初内容在  $Y_3$ , 第 2 个内容在  $Y_2$ , 第 3 个内容在  $Y_1$ , 最后的内容在  $Y_0$  中存储下来。因此,各个寄存器的内容可以像并行寄存器那样,同时取出。而且,当 CLOCK5~8 输入时,  $Y_3$  到  $Y_0$  处也同样可以取出从 D 处输入的相同顺序的数据。

这样,与脉冲的时间差并列的数据,可以不用叉开时间同时取出。也可以与输入一样叉开一定时间取出。这种组合时,数据的输入输出方法有 4 种。这一章对这个内容进行了整理。

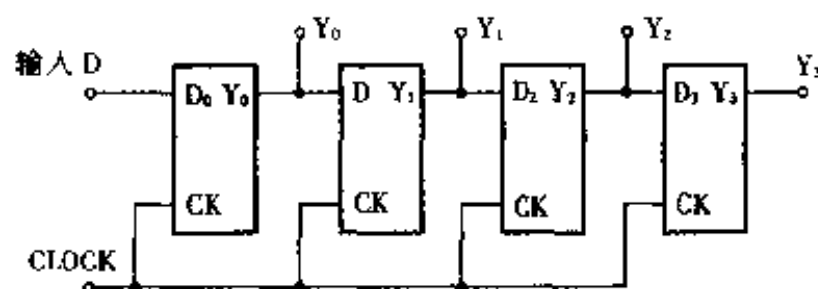


图 7.8 4 位移位寄存器

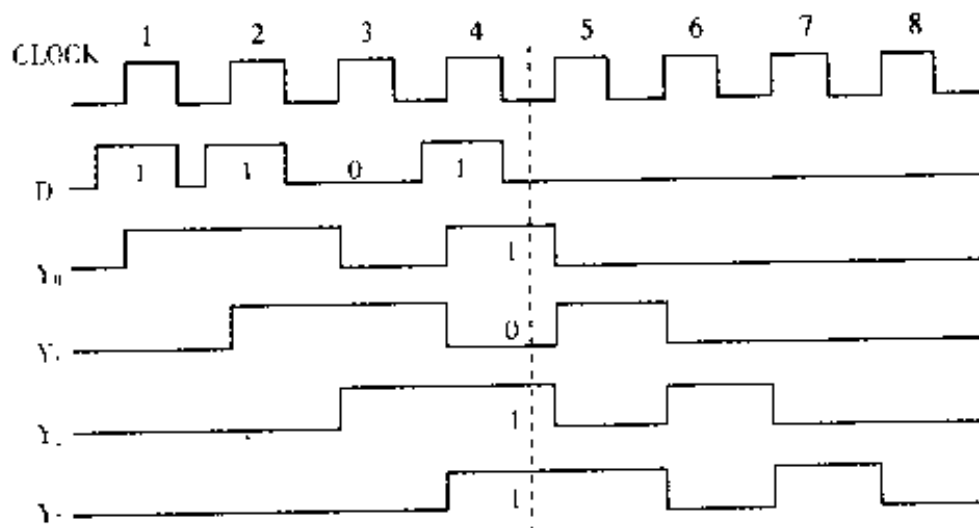


图 7.9 移位寄存器的动作

## 7.2 存储器电路

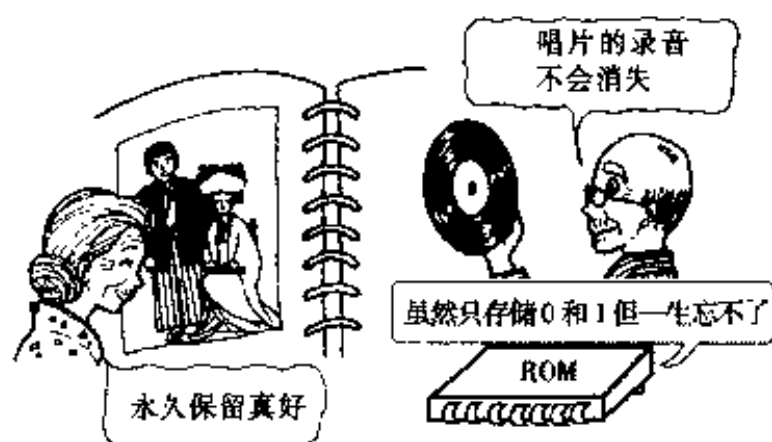


图 7.10 保存一生的内存



图 7.11 可以修改的内存

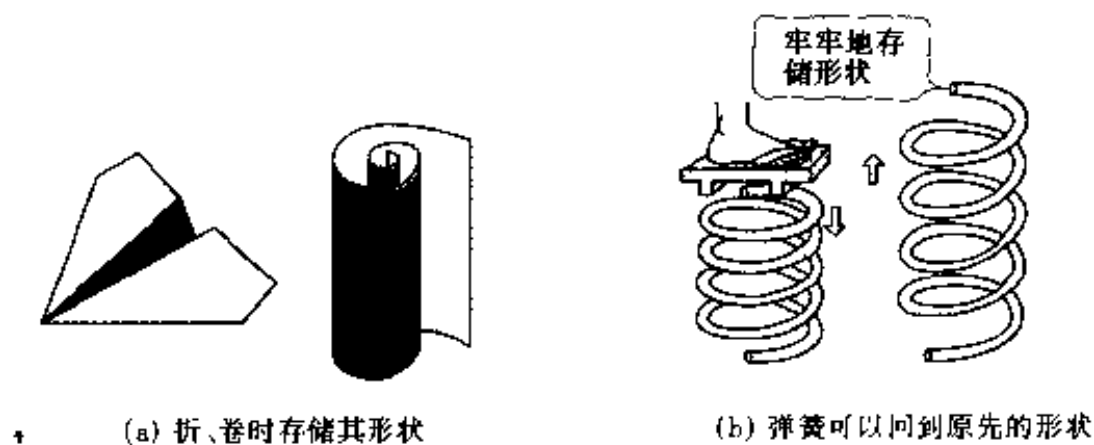


图 7.12 纸与金属也能存储

### 7.2.1 永远记忆的存储器

像唱片那样,一旦制成之后(内容由唱片“存储”),其存储的内容不会消去的存储器称为 **ROM**(Read Only Memory)。作为存储内容读出专用。电子游戏用程序,就存储在 ROM 中。没有必要一次一次地输入程序,只要打开电源,就可以进行有趣的游戏。ROM 分为只要一次存储就无法修改的型号和照射紫外线后所有存储全部消去,可以再一次进行新的存储的型号。

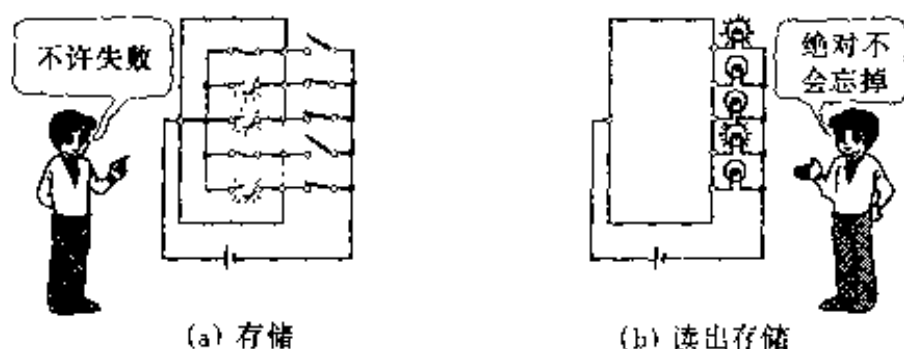


图 7.13 ROM 的原理

图 7.13 中,在存储 0 或 1 时,相当于 0 的部分是能使它流动电流的保险丝处于切断状态。图 7.13(a)是用保险丝“切断还是不切断”的形式作存储。这样图 7.13(b)中,外部连接灯泡时,只有存储为 1(保险丝没有切断)的灯泡点亮。这种形式不能进行存储的修改,但随时可以读出所存储的内容。在图中只画出 5 个保险丝,实际电路有相当于成千上万个保险丝装置在内。另外,大量生产存储相同内容的存储电路时,在存储器制作阶段,开始时将相当于保险丝部分空在那里。因为这样的情况下,不能返工修改,所以要十分注意不能失败。这与生产唱片时,也可能出现几万张次品唱片的情况一样。

### 7.2.2 可存储又可消除的自由存储器

像磁带那样可以自由地存储、消去的存储器称为 **RAM**(Random Access Memory)。这种存储器当电源关闭后,存储内容即消失(磁带不能称为 RAM)。

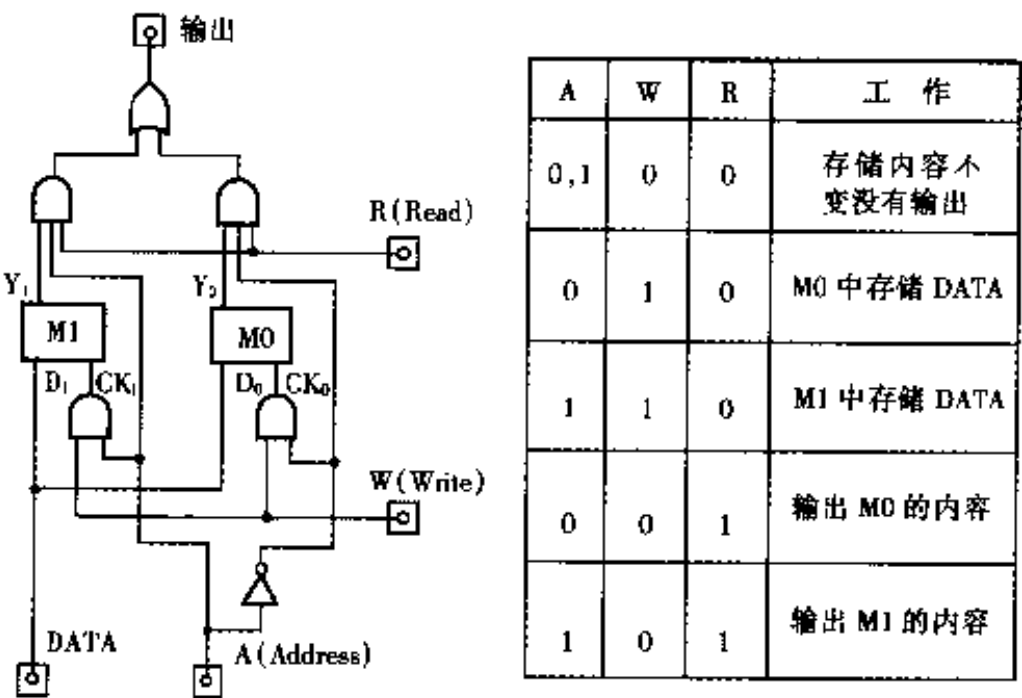


图 7.14 1 位×2 语 RAM 电路和工作

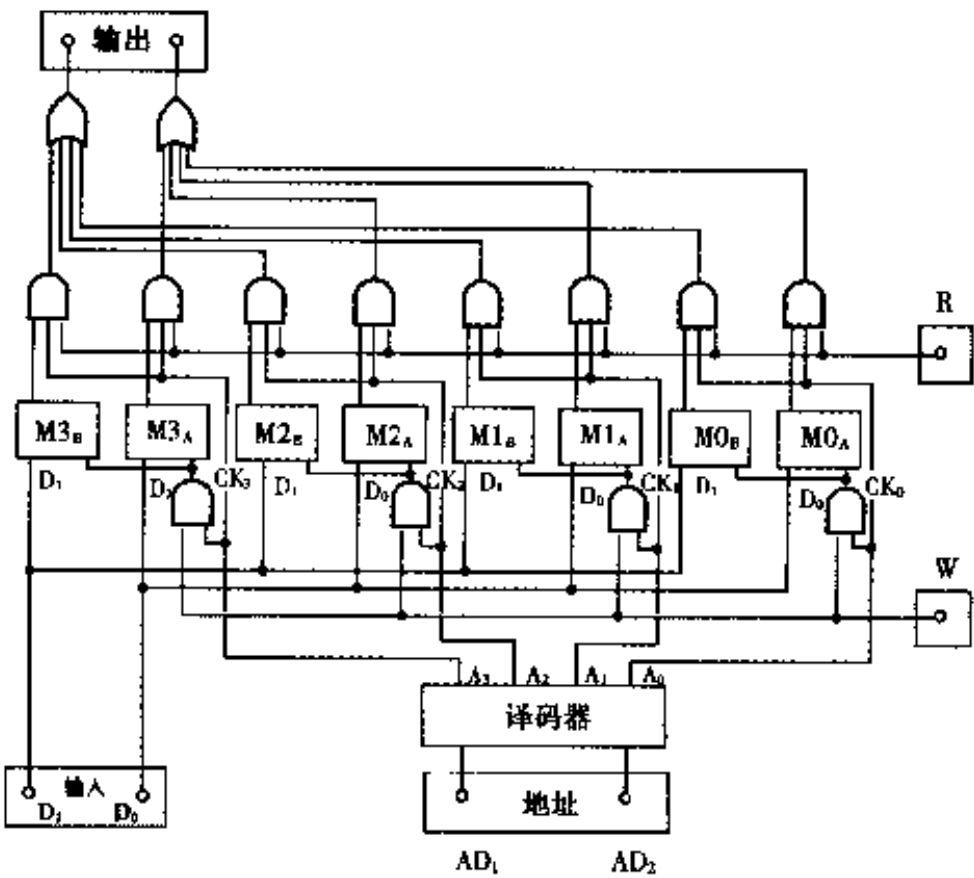


图 7.15 2 位×4 语 RAM 电路

图 7.14 是用 2 个 D 触发器  $M_0$ 、 $M_1$  组成的存储器电路。可以存储、读出 2 条 1 位的数据。这样的内存称为 **1 位 × 2 语存储器**。A 端是选择存储地点,称为地址(Address)。而 W 端子是为了写入数据称为写入(Write), R 端子是为了读出存储,称为读出(Read)。地址端依据 0 或 1, 选择  $M_0$ 、 $M_1$  中的一个, W 为 1 时 DATA 写入存储器, R 为 1 时读出存储器的内容。具体的如图 7.14 的工作表所示。

图 7.15 是容量增加的存储器为 2 位 × 4 语(可存储 4 条 2 位的数据)的电路。存储器有 4 组,为了选择其中一组,通过 2 个地址端进行,这与图 7.16 的译码器电路的作用相似。

这里,  $AD_0 = 0$ ,  $AD_1 = 0$  时,译码器的输出选择  $A_0$ ,指定存储器  $MO_A$  和  $MO_B$ 。

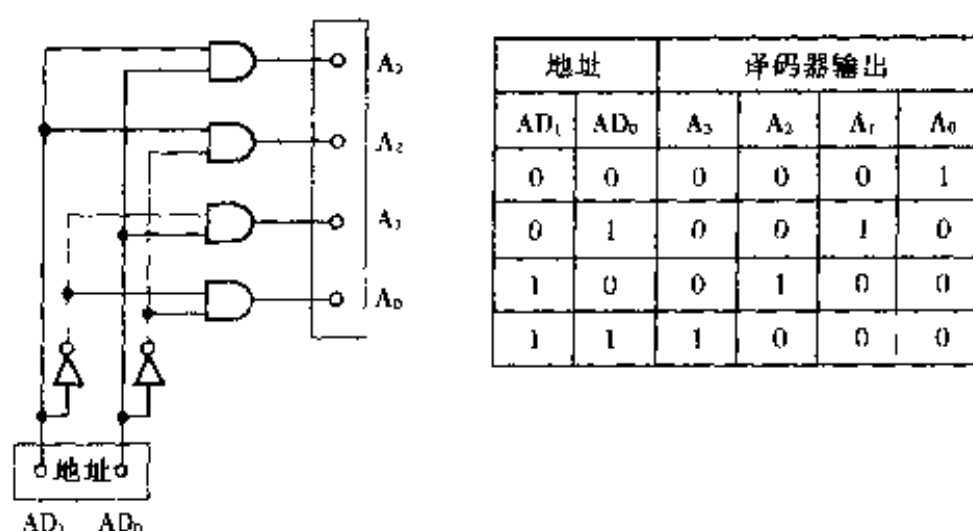


图 7.16 选择电路及其真值表





我们对计算过程稍微形象地画一下,如图 7.18 所示。图中 CPU 先生非常勤奋,而计算机也同样,计算啊、各种指令啊等均通过 CPU(Central Processing Unit 中央处理器)来进行。CPU 即是计算机的大脑。将画改一下,如图 7.19 所示,CPU 由运算部分、控制部分、各种寄存器 3 个部分构成。

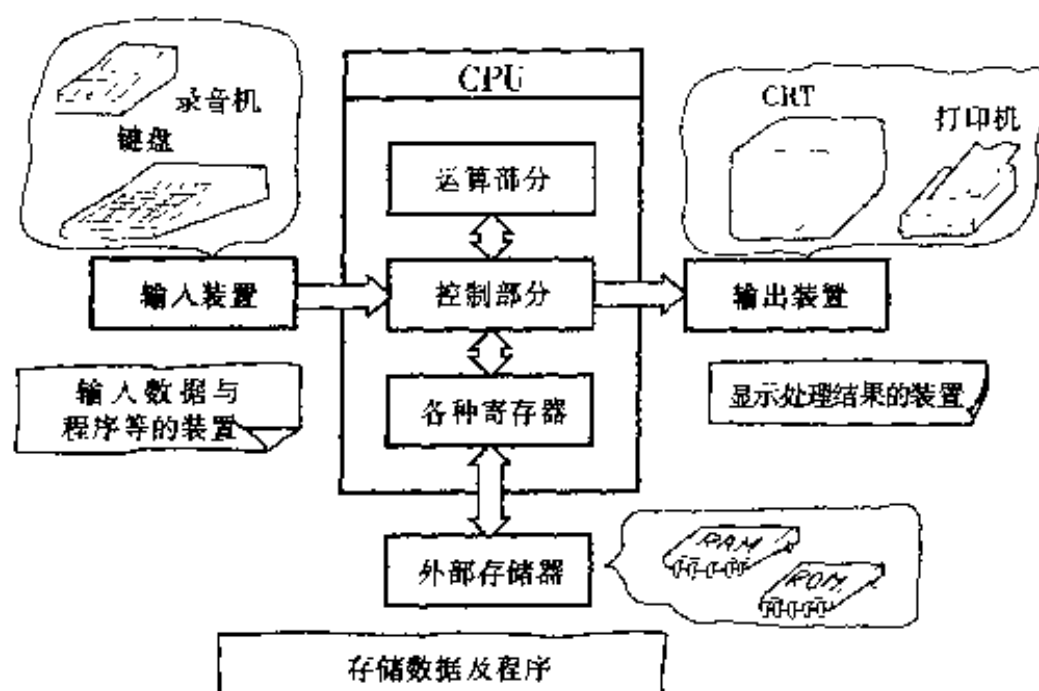


图 7.19 计算机的组成

**运算部分**起到与电子计算器一样的作用,由加法电路和逻辑电路等组成。

**控制部分**是进行翻译命令、运算操作、输入输出、各种寄存器的控制。

**各种寄存器**是为了将计算机处理的数据和中间结果,临时存储或取出的部分。

总之,这些只不过是所学过的计数器、逻辑电路、寄存器、存储器等数字电路组成的。另外电子计算器,按计算顺序必须由我们一步步输入,而计算机则忠实的执行存储下来的程序自动地一步步实行。这一点是电子计算器与电子计算机的完全不同点。

## 7.4 存储器的实验

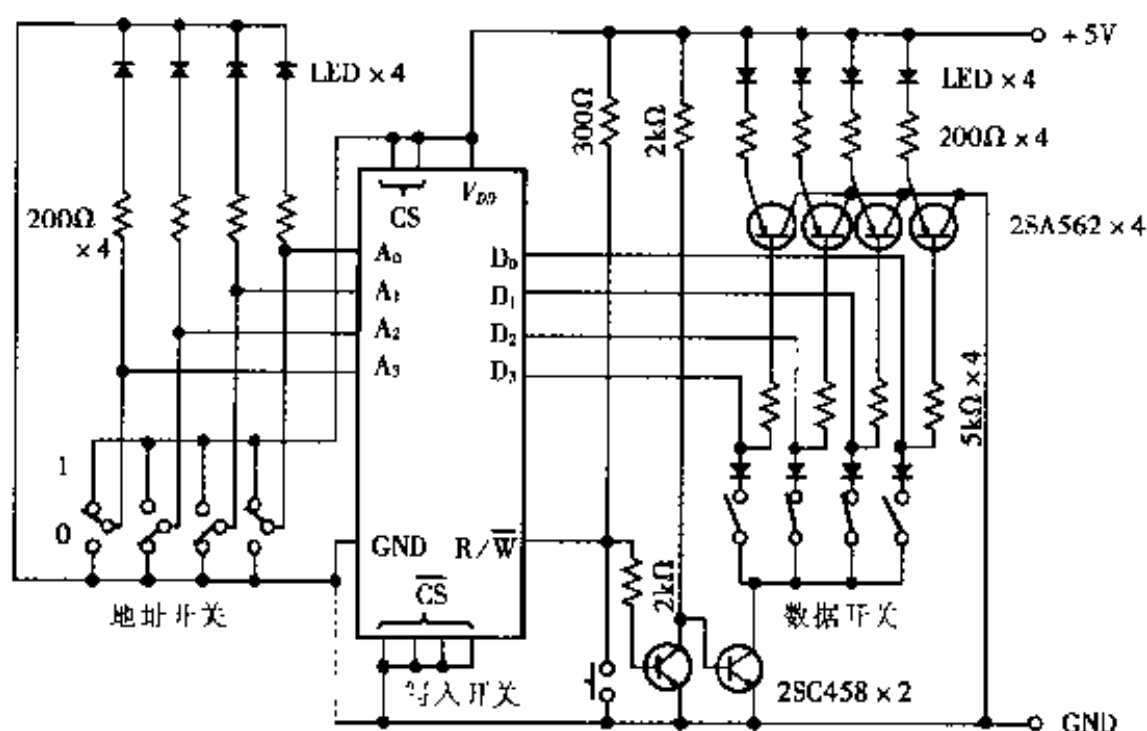


图 7.20 实验电路

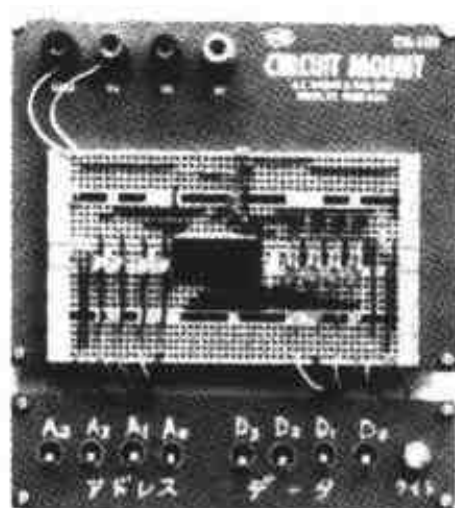


图 7.21 实验电路(照片)

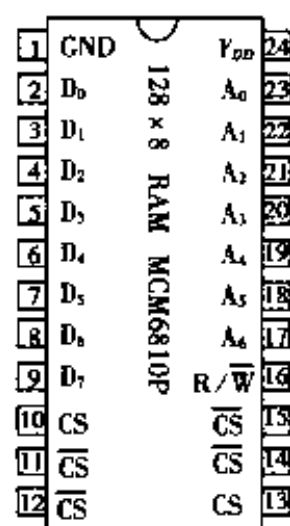


图 7.22 MCM6810P

为了理解存储器的性质与使用方法,首先要试用一下。各种存储器在市场上可以买到,这里选用可以自由写入、读出的 RAM 中的 MCM6810P。这个 RAM(8 位 $\times$ 128 语)可以在 128 个地址中存储、读出 8 位的数据。因此,为写入、读出的数据端子有 8 个,而指定存储器的地址端子有 7 个。为了简化实验,使用范围限制为 16 个地址可写可读 4 位数据。要充分使用这个存储器时,只要增加开关及 LED 即可。 $R/\overline{W}$ 端子只起指示写入到存储器还是从存储器读出的作用,L 电平(0V)时写入,H 电平(5V)时读出。CS 端子是在几个存储器并列时,选择哪一个 IC 的指示端子,这里选择  $CS = H, \overline{CS} = L$  的 IC。

在图 7.20 的实验电路中,首先做一下数据的存储。要在 0000 地址中存储 0101 时,地址开关设定为 0000。接着,数据开关设定为 0101,这样准备完成。如果按下写入开关, $R/\overline{W}$ 端子为 L 电平,可进行写入。而打开开关时, $R/\overline{W}$ 端子为 H 电平,进行读出。当然,这时,刚写入的数据原封不动的读出。存储器的内容通过数据用 LED 显示出来。接着,设定 0001 地址,数据设定为 1010 后,按下写入开关。同样地,一个接一个设定地址,将想存储的数据用数据开关设定后,再按下写入开关即可。要知道存储器的内容时,设定要想知道的地址的地址开关的码,其地址中存储的内容通过数据用 LED 显示出来。要想自动地一个一个变换地址时,只要将振荡器与计数器组合起来即可。

在这个实验中,地址的指定与数据的写入、读出是用自己的手来进行的,在计算机中,这些工作由 CPU 完成。如果不用 CPU,由我们直接对存储器读写的方法称为 **DMA**(Direct Memory Access)。

本章小结

- 将数据临时保持一下的电路称为寄存器。
- (1) 将数据所有的位同时保存的寄存器称为并行寄存器。
- (2) 将数据 1 位 1 位叉开时间保存的称为移位寄存器。
- (3) 数据的输入输出方法的组成如图 7. 23 所示有 4 种。
- 存储器有存储内容不能变更的读出专用的 ROM, 和写入读出均可自由进行的 RAM。
- CPU 是相当于人脑部分, 由运算部分、控制部分、寄存器 3 部分组成。

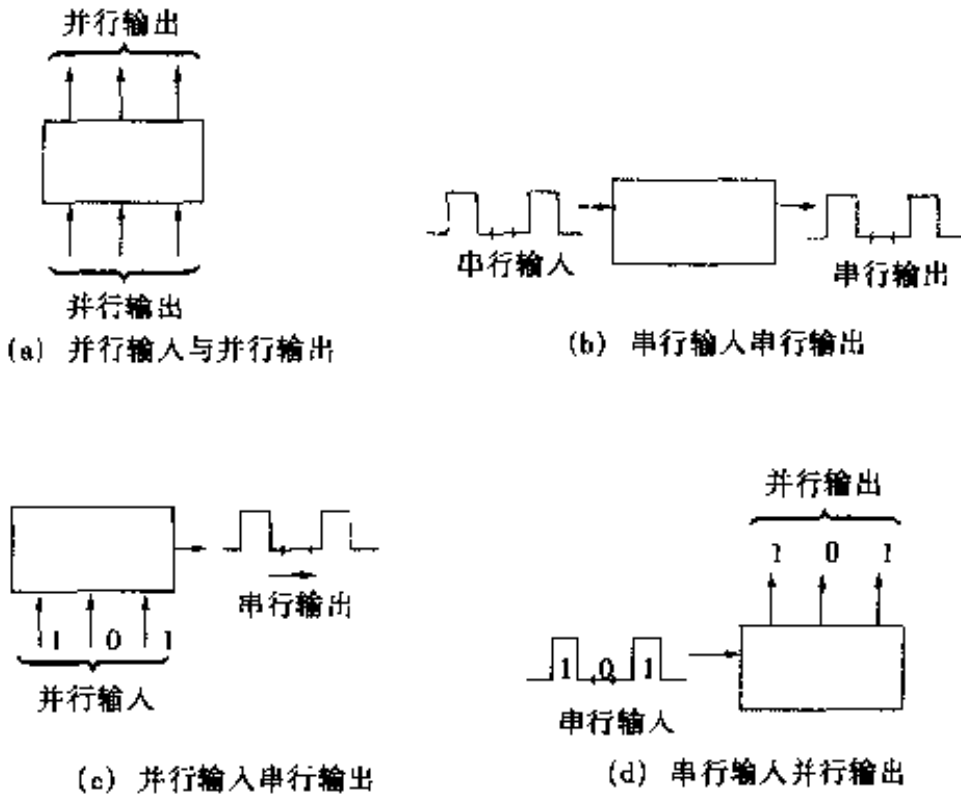


图 7. 23 寄存器的输入与输出的组合

# VII

## 应用电路和制作

---

至此为止学习了各种单个电路，实际运用中是将这些电路组合起来使用的。特别是计算机使用了所有这些电路。

这里作为实际应用，我们将几种电路组合起来，制成实用的电路。为了真正掌握所学到的内容，亲自动手、亲自操作一下非常重要。而实验中使用的零件，是读者都能方便地买到手的。

为了今后学习计算机知识，作为入门，本书也简单讲解其基本的工作原理。



### 8.1.1 概论

图 8.1 所示的方框图中,很明确电子钟表是以计数器为中心的。计数器相当于机械式钟表的齿轮,内部是由触发器组成。但是,如果这个计数器和译码器等一切电路均用晶体管来制作,将有很大的工作量。而现在市场上所出售的计数器用 TTL 型 IC,1 个在 100 日元以下,所以本实验使用这些零件来制作石英钟表。

印刷板使用有孔基板(140mm×95mm),根据方框图分别制作电路。电路根据方框图制作时,电路的工作即使不合格,各部分可以单独试验,所以很方便。

### 8.1.2 电路的各个部分

TTL 型的 IC,在使用电压变动范围大时,不能保证它正确工

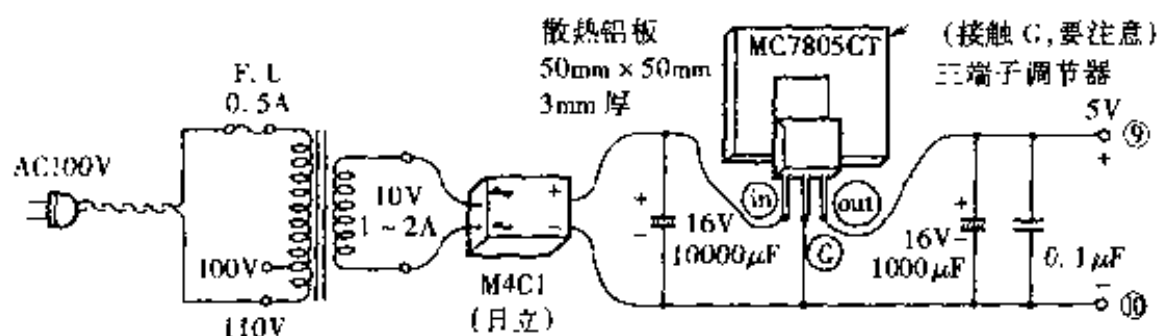


图 8.3 稳压电源电路

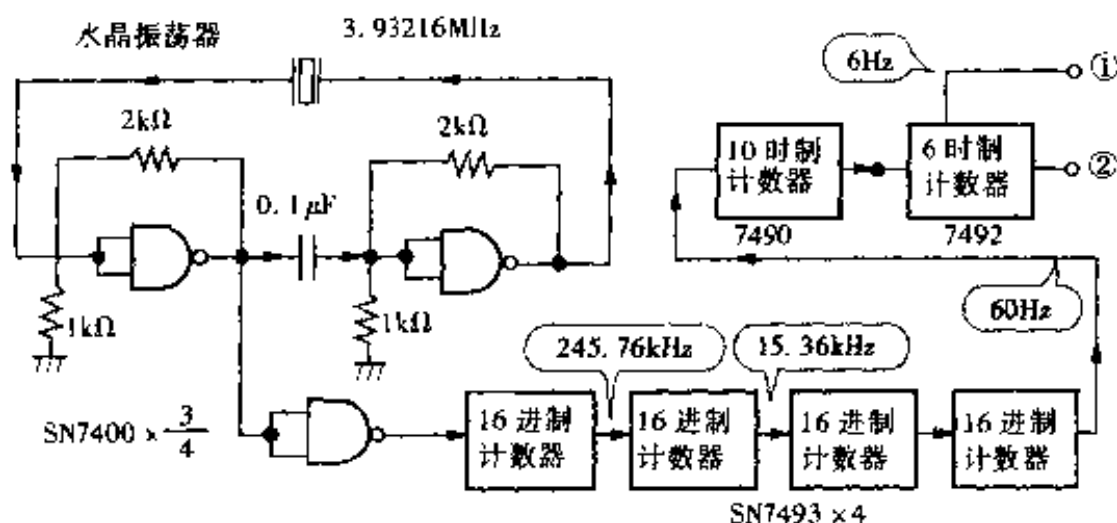


图 8.4 产生时基的振荡、分频电路图



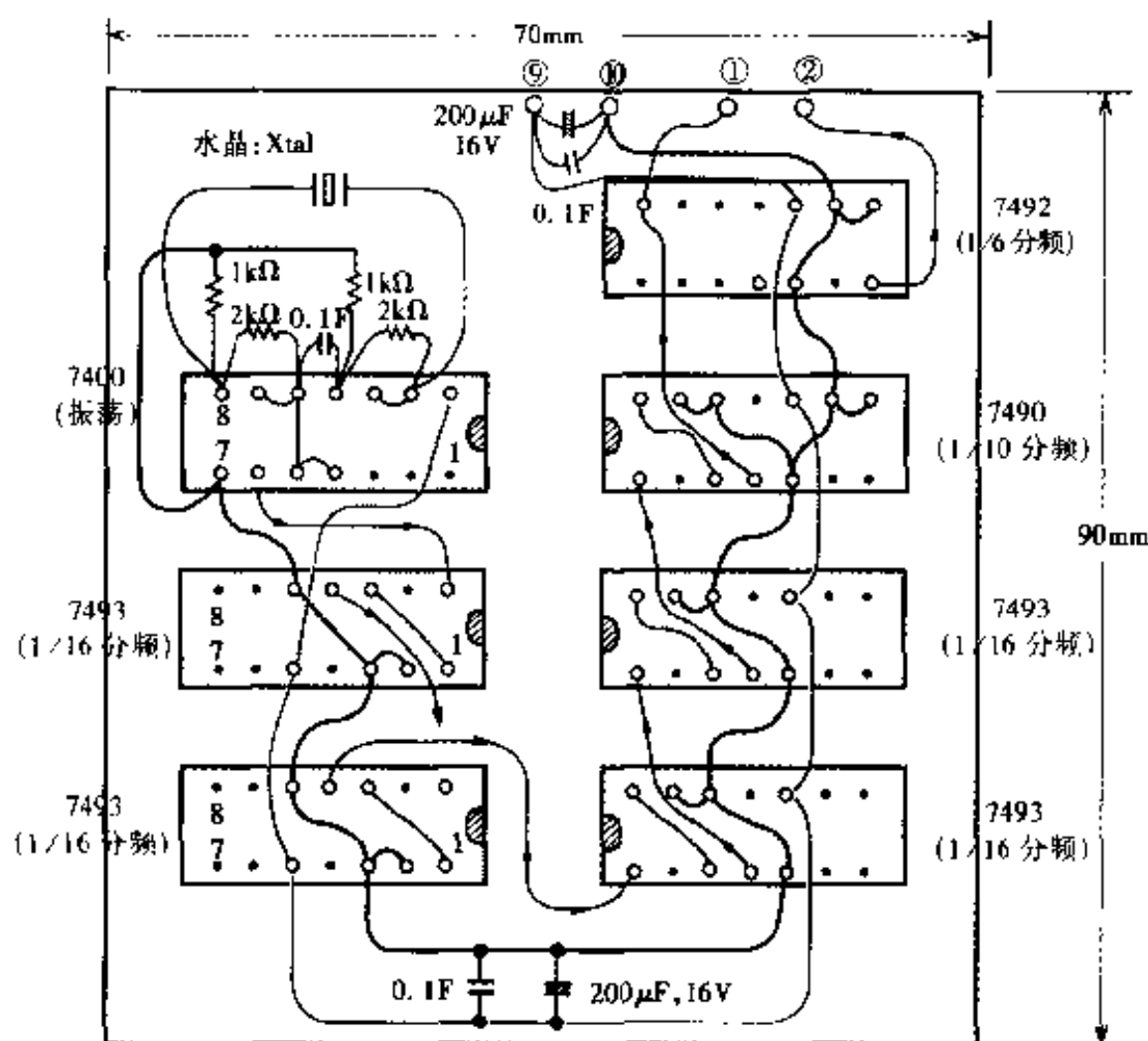


图 8.5 产生时基的振荡、分频电路  
(自激多谐振荡器和分频电路的底视图,是图 8.4 的实际图)

作,所以稳压电源是必要的。这里使用 MC7805CT,得到 5V 的稳压电源。

图 8.5 中,在自激多谐振荡器不振荡时,试调整一下  $1k\Omega$  和  $2k\Omega$  的阻值。

图 8.6 中所示“秒计数器”和“分计数器”的电路完全相同,所不同的仅是 7 段荧光管 LED。

图 8.7 中时间的显示,因为计数器是 12 进制,数字是 10 进制,所以有必要通过如图 8.8 所示的门电路进行“2 位分离”。门电路的作用用真值表确认一下即可。

图 8.10(a)中表示了时间设定的开关电路。原理上这个电路是可以快速进行时间设定的。但是,实际上,开关在接触点有振荡,所以,在图 8.10(a)中,B 点为快速设定,回到 A 点时再加上振荡的脉冲。

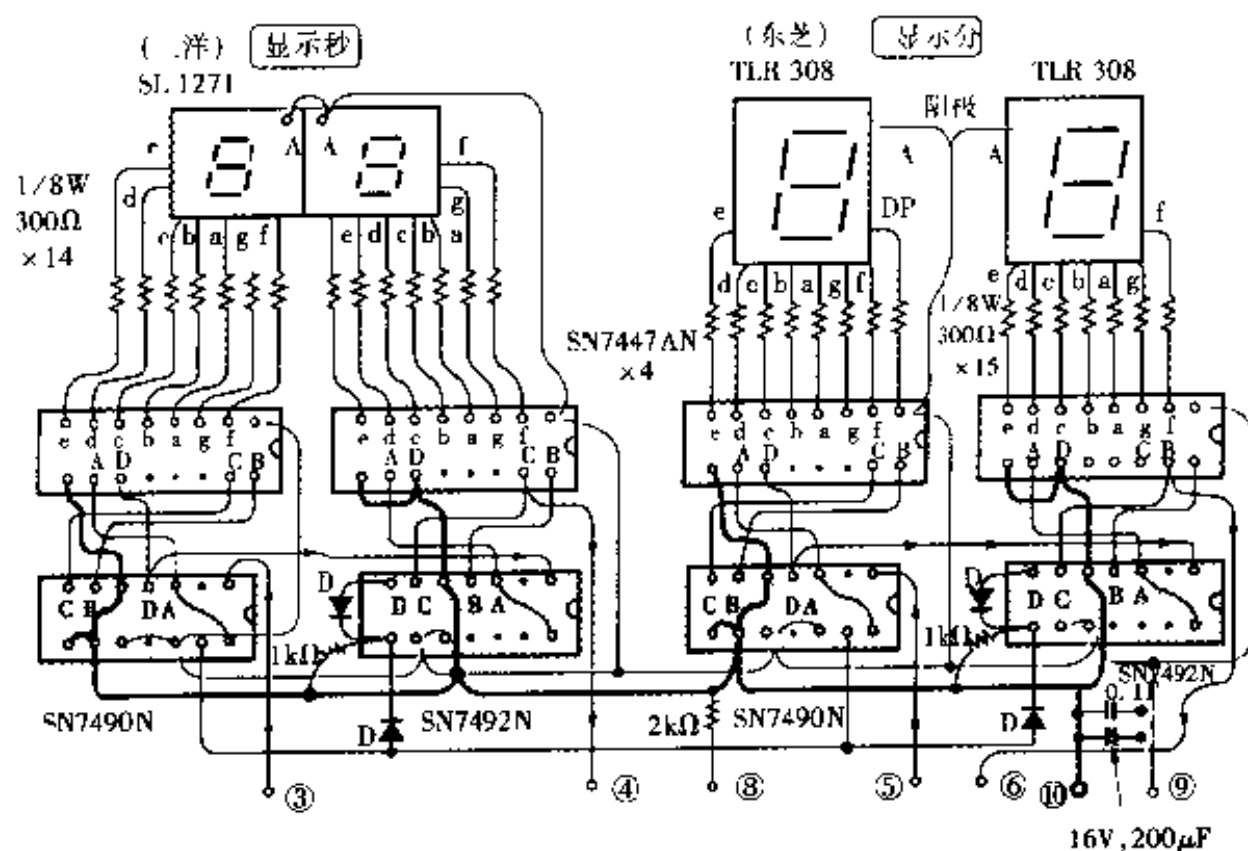


图 8.6 秒及分的计数器和显示电路(反面图)

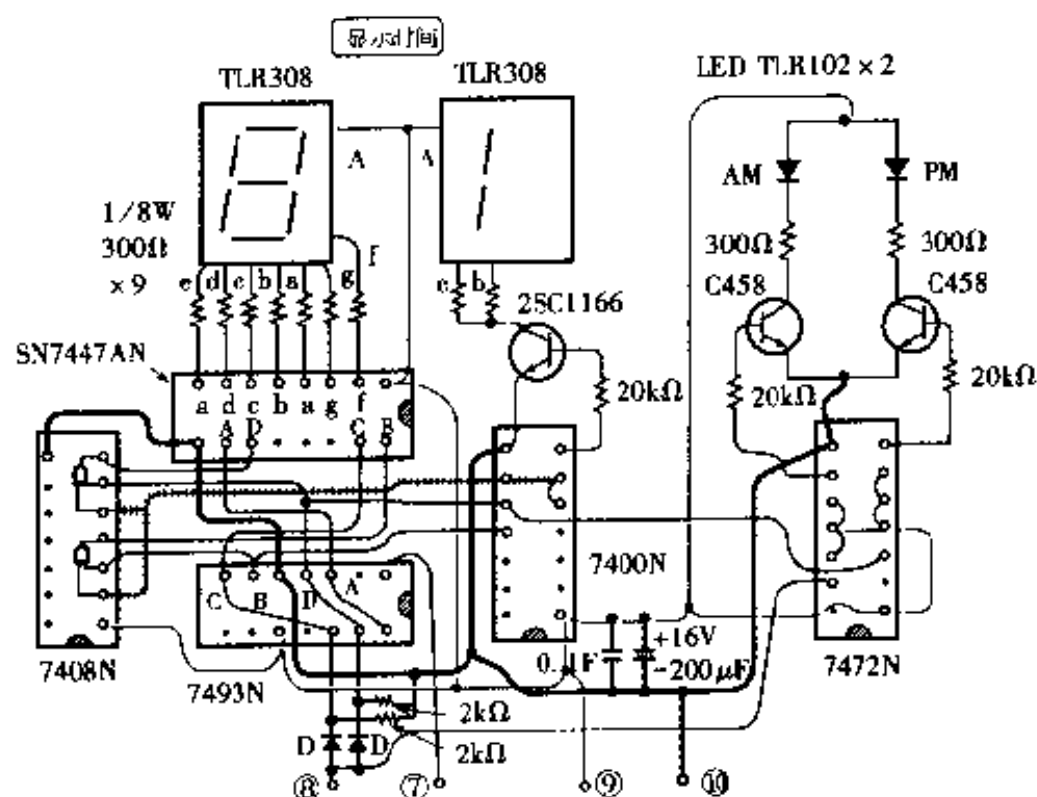


图 8.7 时间及 AM/PM 计数器和显示电路

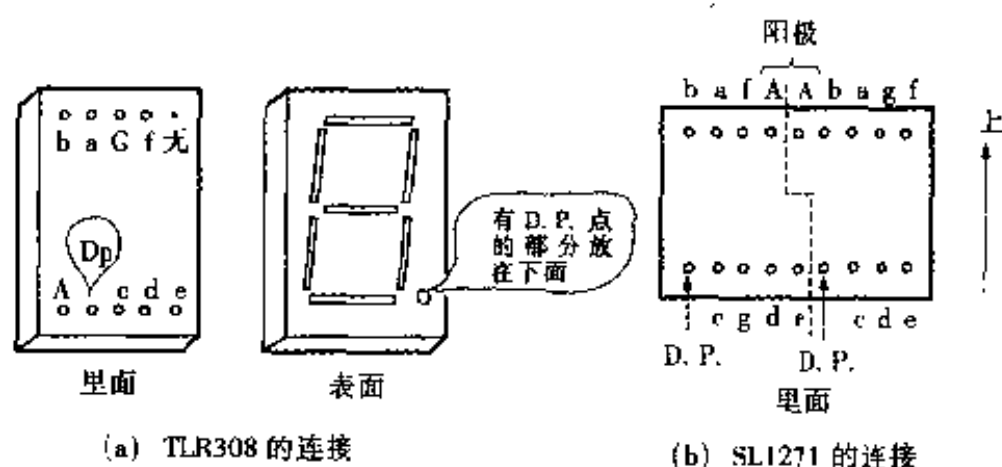


图 8.8 12 进制→10 进制分离门电路

12 进制计数器的真值表

数	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1

同时检测到 B 和 D  
时, 高位显示“1”,  
B 和 D 回到零电平

A 位保持现状

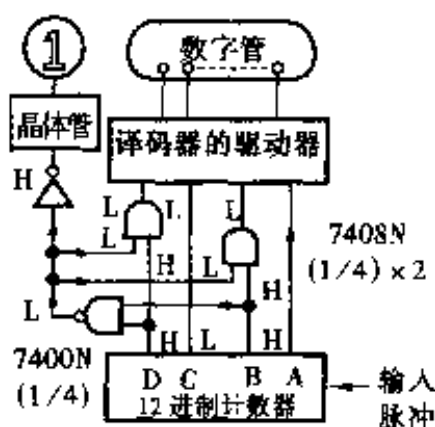
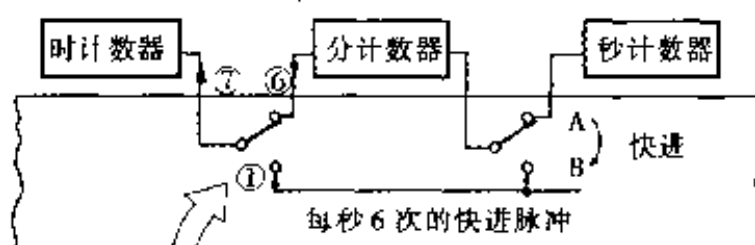
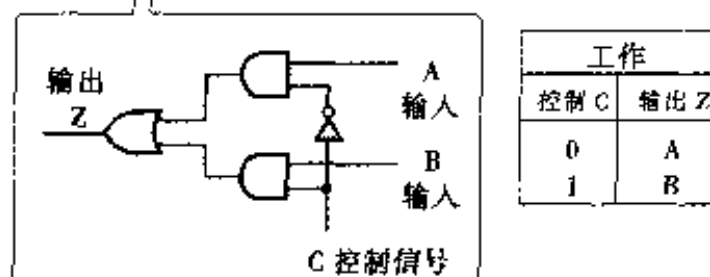


图 8.9 7 段 LED 的连接图

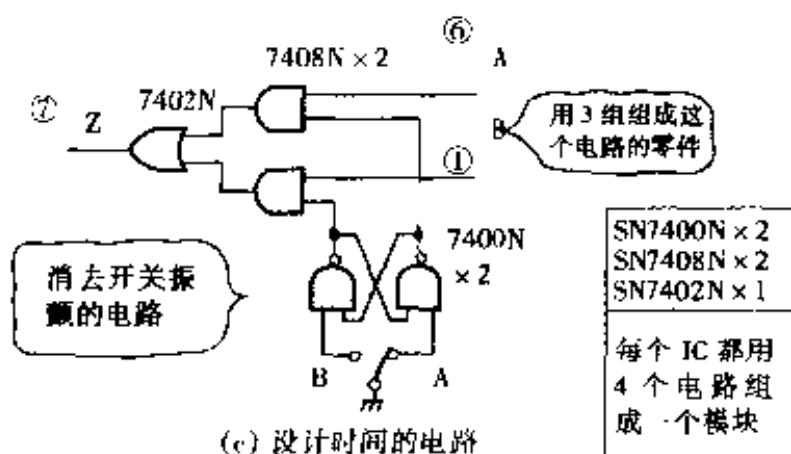
这里, 作为实际使用的电路, 可以使用图 8.10(b) 中所示的门电路, 再组合一个振颤的吸收电路, 如图 8.10(c)。图中使用的门电路 IC, 在每一个模块中组装了 4 个电路。因此, 用 7400N 和 7408N 各 2 个, 7402N 1 个时, 就可以制成 3 个 3 组调节电路。



(a) 时间定位板的一部分



(b) 选择输入的电路(多路转换器)



(c) 设计时间的电路

图 8.10 开关板

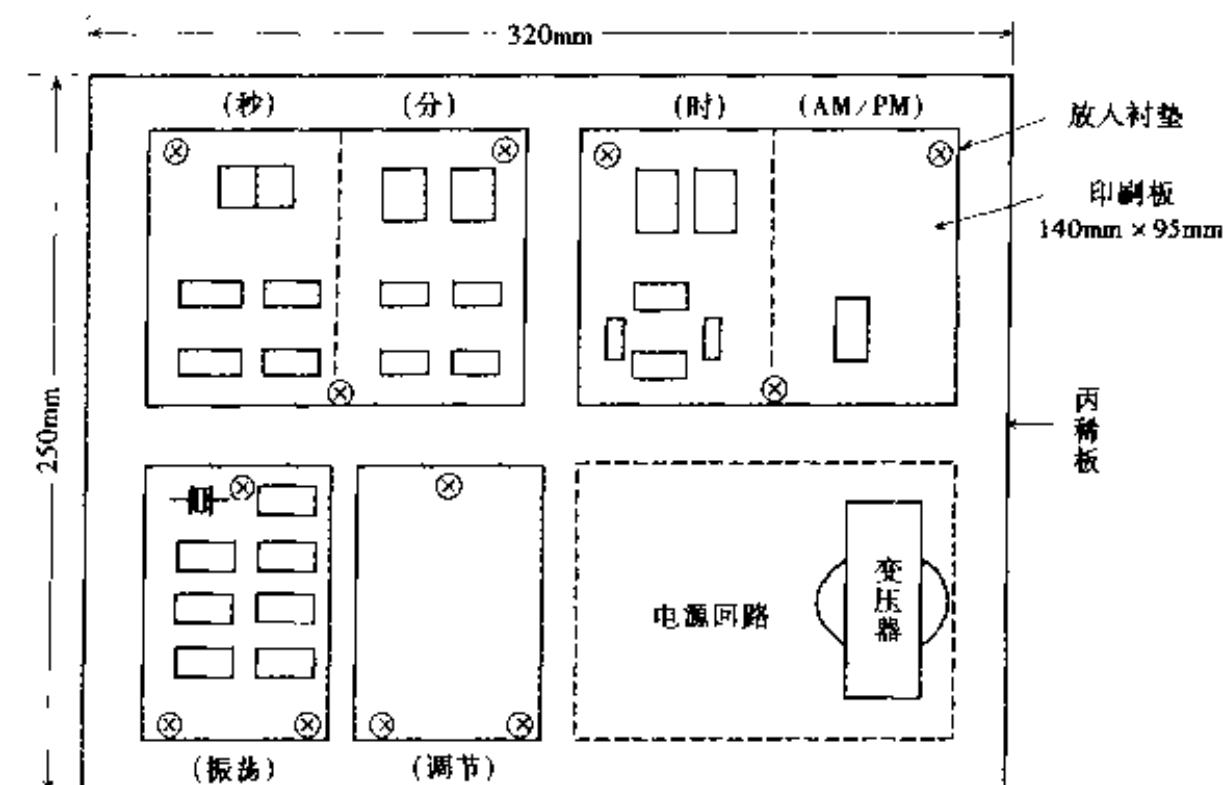


图 8.11 配置图(内视图)

表 8.1 使用零件表

分 类	零件的种类,零件名		数量	单价
计数器 IC	16 进制计数器	SN7493N	5	80
	12 进制计数器	SN7492N	3	80
	10 进制计数器	SN7490N	4	80
	2 进制计数器	SN7472N	1	70
译码器 驱动器	7 段显示 LED	LED 用 SN7447AN	5	120
门电路 IC	AND 门电路	SN7408N	1(+2)	50
	NAND 门电路	SN7400N	2(+2)	40
	OR 门电路	SN7402N	(+1)	
LED 半导体	7 段显示 LED(东芝)	TLR308(A 公用)	4	450
	7 段显示 LED(三洋)	SL1271(A 公用)	1	300
	LED(发光二极管)	TLR102 ~ 110	2	40
	二极管桥堆(日立)	M4C1	1	250
	三端子调节器	MC7805CT	1	200
	晶体管	2SC1166	1	50
	晶体管	2SC458	2	40
	开关二极管	1C2075	8	50
其他	晶体振荡器	3.93216MHZ	1	400
	电解电容	16V, 10 000 $\mu$ F	1	500
	电解电容	16V, 1 000 $\mu$ F	1	200
	电解电容	16V, 200 $\mu$ F	4	80
	聚酯电容	50V, 0.1F	6	40
	印刷板	93W	3	580
	丙稀板	320mm $\times$ 250mm $\times$ 3mm	1	500
	电阻	1/8W, 300 $\Omega$	40	20
	电阻	1/8W, 1k $\Omega$ (4), 2k $\Omega$ (5), 20k $\Omega$ (3)	12	20
	电源变压器	110V, 10V, 1A	1	600
	FU·FU 支架	0.5A	1	150
	14 脚 IC 插座		21	80
	16 脚 IC 插座		5	80
	其他省略			

( )的数量为时间设置使用

## 8.2

## 将钟表用的 IC 用于数字式钟表的制作

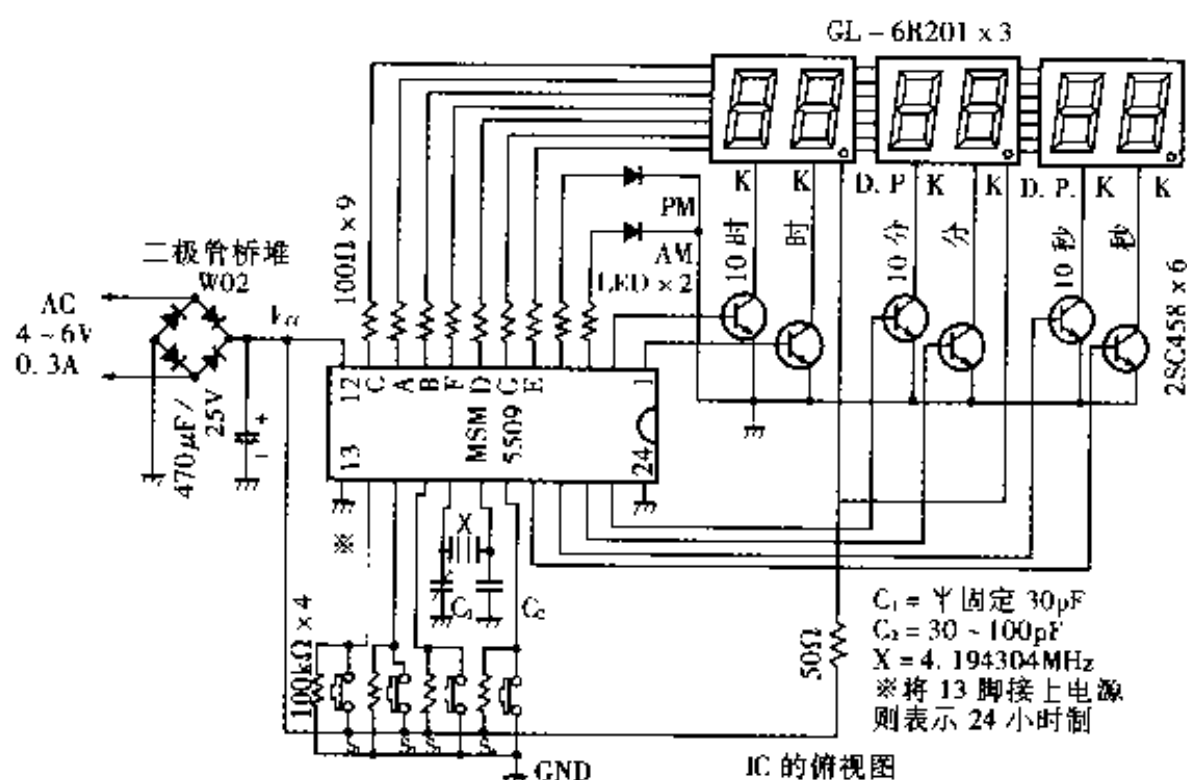


图 8.12 电路图

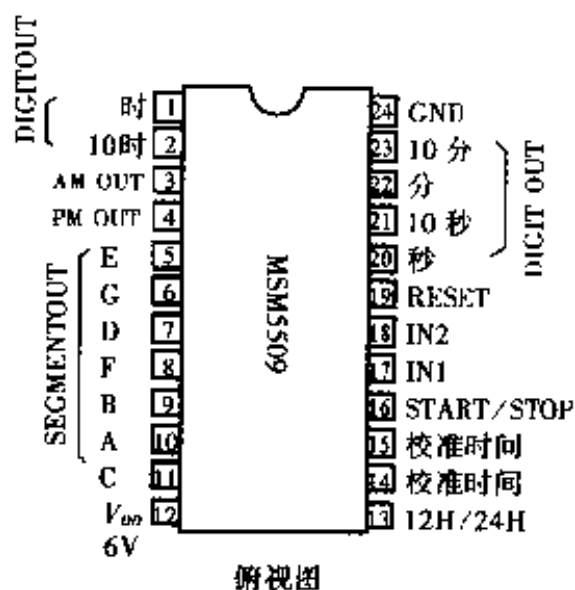


图 8.13 MSM5509

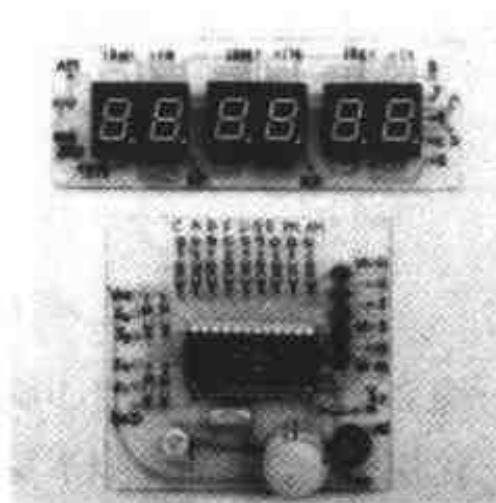


图 8.14 制作例子

### 8.2.1 概论

在上一节中已经制作的数字钟表是通过几个数字电路组合成的。然而,在市场上有多种将以上零件装入一个模块的电路,本章中,我们用其中的 MSM5509(如图 8.13)来制作钟表。这种钟表将所有必要的电路装入一个 IC 中,因此对各部分的工作无法检验,但在实用上已广泛使用。图 8.12 是使用 MSM5509 的数字钟表的电路。使用的晶体振荡器的频率为  $4.194304\text{MHz}$ ,在  $1/2^{22}$  次分频之后,得到 1 秒的脉冲。在 12 小时制显示时,也可以表示出 AM 和 PM。

电源部分连接到 AC4~6V,在可能的情况下,希望如上节中说明的电源要稳定。这时,用图 8.3 的相同电路即可,而三端子调节器换成 MA78M06。另外电源变压器用 10V、0.3A 的规格就够了。

### 8.2.2 显示电路

图 8.15 是显示时使用的 GL-6R201。这里有 7 段荧光器显示器 LED 的 2 个组成。

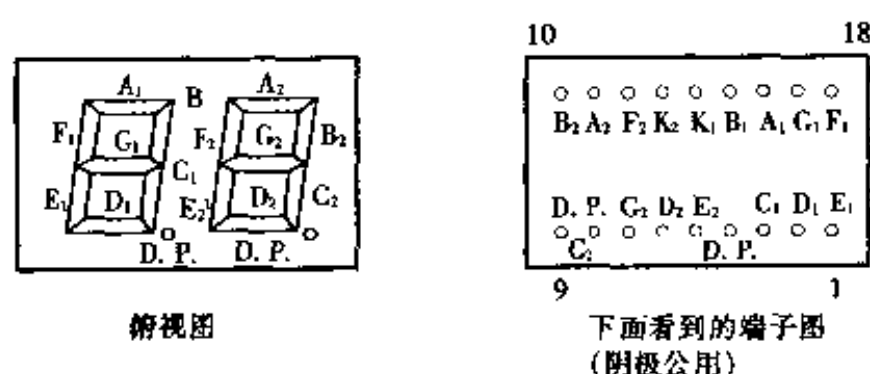


图 8.15 GL-6R201

图 8.16 是显示器的印刷板的图形。显示器的 7 段均并联连接。这样,各显示部分似乎要混淆起来。事实上,如图 8.17 中所示,在 IC 内部,10 时这一位到秒这一位是按顺序切换计数器和显示器。例如,表示 10 分这一位时,计数器的输出被连接到 10 分位上。这样,6 个显示器都进行 10 分位的表示。但是,如果只选择 10 分位的共同的阴极让它接地,则其他显示器消失,只显示 10 分

位。接着,显示分这一位时,其他的显示器就消失。这样,虽然是按顺序一个一个显示的,但因为是 1 秒中几千次重复进行,由于眼睛的余辉,就感到看到的是所有同时显示一样,这种分法称为动态驱动。可以大大减少译码器的数目、显示器的接线等。

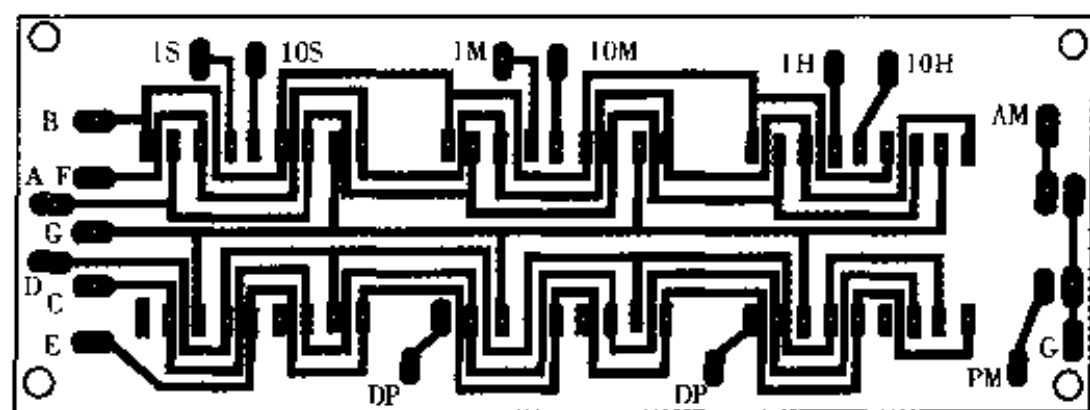


图 8.16 显示器的图形,例子(实物大小)-底视图

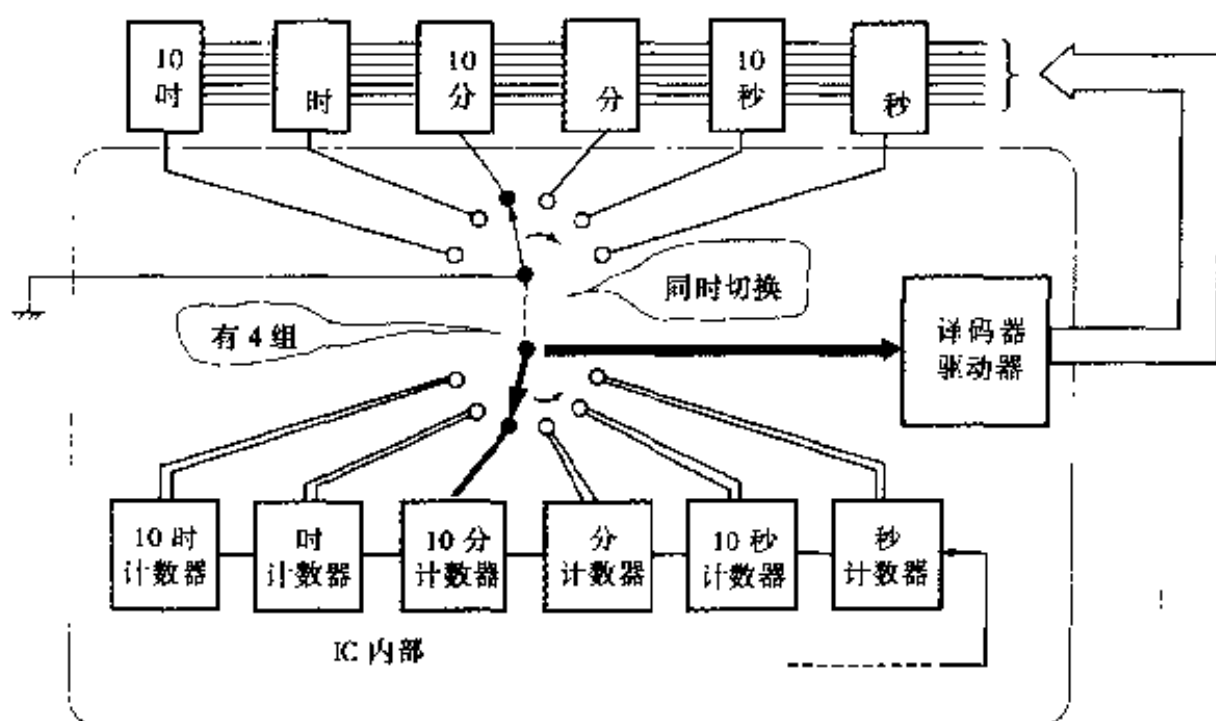


图 8.17 显示器的动态驱动

### 8.2.3 制作上的注意点

不要直接用焊接方法制作 IC, 而用插件式。同时通电时不要插、拔 IC。图 8.18 是印刷板连线图的例子。



8.2.4 调整

因为是晶体振荡器，所以用  $C_1$  可以稍稍调整一下时钟的快慢。 $C_1$  调大变慢，校对时间用  $S_1 \sim S_4$ ，如表 8.2 所示来进行。

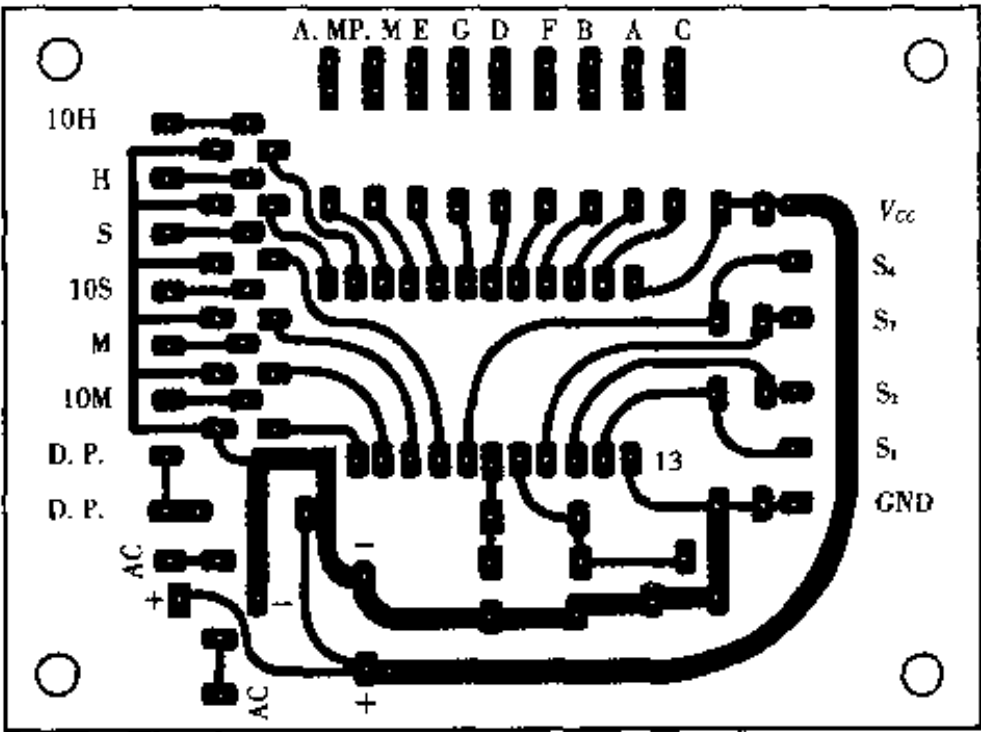


图 8.18 印刷板的连线图例(实物大小) - 从反面看的图形

表 8.2 校对时间

开关	动作
$S_1$	分单位快进
$S_2$	10 分单位快进
$S_1$ 与 $S_2$ 同时	时单位快进
$S_3$	停止
$S_4$	显示为“0”

## 8.3 计算机的工作原理

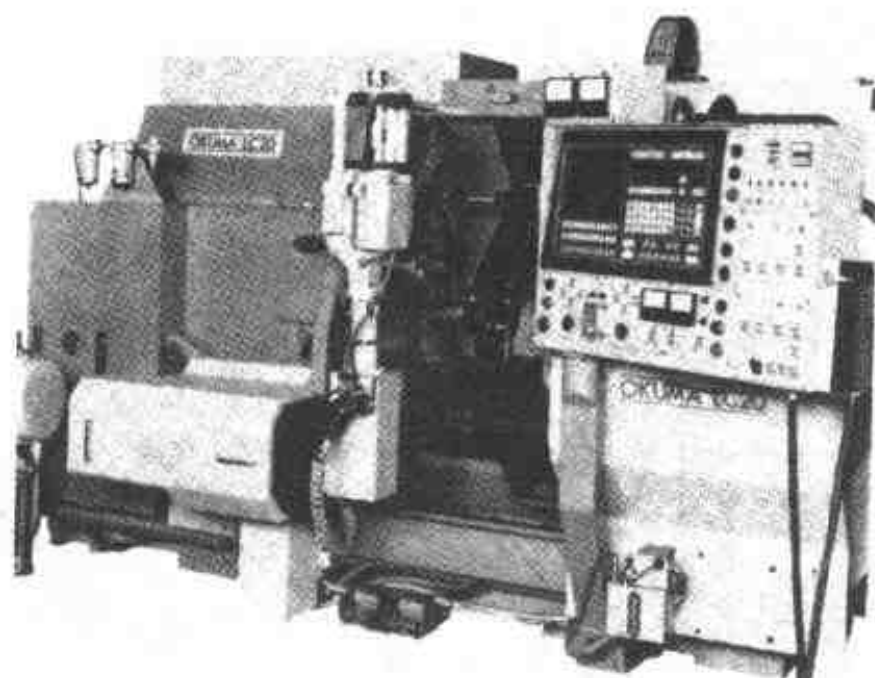


图 8.19 大的机械也可用小的计算机控制

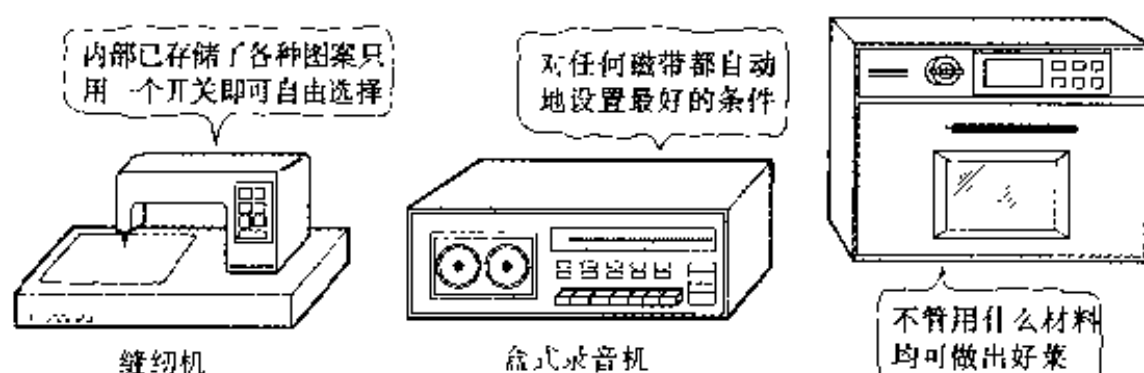


图 8.20 家用电器也装有计算机

### 8.3.1 硬件与软件

在音响发烧友中,有的自己设计电路,或者买来零件自己制作放大器,以得到良好音质,也有日以继夜测试音响特性或时时刻刻进行调整的人们。与此相反,有对放大器的内部情况不熟悉,而到处求购磁带与唱片,进行欣赏,还有自己为自己制作录音磁带等人们。前一种人的所做涉及到的范围称为**硬件(hardware)**,而后者所涉及到的范围称为**软件(software)**。

计算机世界中也有2个范围。电路、输入输出装置的机械等的范围为**硬件**,而专门为更好利用计算机所考虑的、利用的程序等范围称为**软件**。到目前为止学习的内容均为**硬件**



图 8.21 硬件与软件

### 8.3.2 程序

在开运动会时,首先是1年级学生的拍球比赛,接着为5年级学生的拔河,再下面……这样的比赛顺序,也即程序。如果不能很好安排,则或者运动会不能开下去,或者开得乱七八糟。计算机也是给出命令而开始工作,所以程序即是命令的组合。说起命令,在数字世界中,也只不过是0、1的组合。

### 8.3.3 信息在总线上来回运行

计算机中相当于人脑是CPU,控制着所有的存储器、输入装置、输出装置。为此,CPU与其他各个部分如图8.22所示那样用传输信息的信号线连接起来。这些信号线,多根编成一束,各种各样信息通过这根线,来来去去到各个部分。恰好如同公共汽车一

样。而且指定地址的信息,通过地址总线;传输命令与信息的数据通过数据总线;控制各部分的信息通过控制总线,利用各自的专用总线。

在向 RAM 写入数据时,首先为了指定存储的地方(用地址表示),地址信息送入地址总线,接着希望写入的数据送入数据总线,而写入命令则送入控制总线,就可以完成(如图 8.23(a))。

从存储器中读出数据时,为了指定想要读出的存储器的地

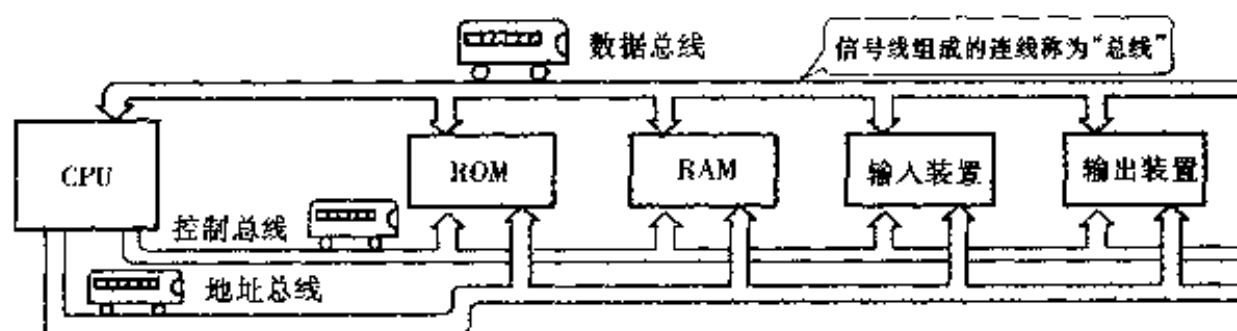
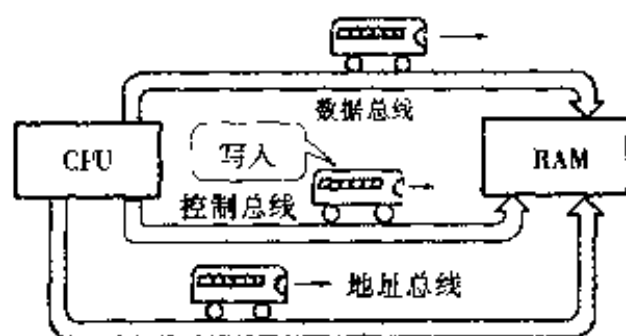
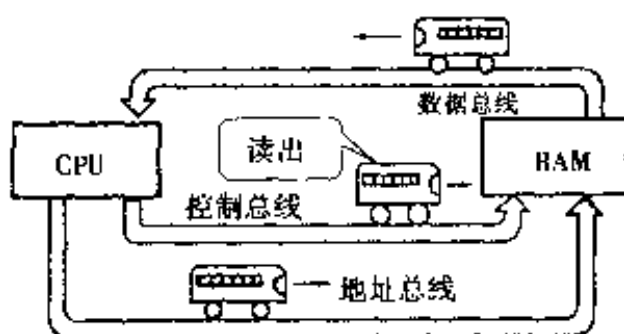


图 8.22 信息送入专用总线



(a) 写入



(b) 读出

以微机为例,  
可以认为 4  
根信号线组  
成一条总线  
的是 4 位微  
机,而 8 根  
信号线组  
成一条总线  
的是 8 位  
微机

图 8.23 写入与读出

址,让地址信息送入地址总线。接着,读出指令送入控制总线,而被指定的存储器内容,送入数据总线(如图 8.23(b))。

### 8.3.4 命令的种类

计算机都是忠实地服从我们所编写的程序而工作。即使是一些高级计算机,如果没有程序,就不能做任何工作。相反,即使有专门的程序,如果不是计算机能够理解的内容,则没有任何意义。BASIC, COBOL 等,有各种各样用途的程序用语言,也有用日语制作程序的语言。但是,计算机实际上只是在 0 和 1 的世界中工作,其计算机本身是不会理解英语和日语的。因而,为了使对于英语和日语等编制的程序,编成计算机也可以理解使用的程序,预先存入 ROM,最后,变换成 0 与 1 的组合,使计算机工作。

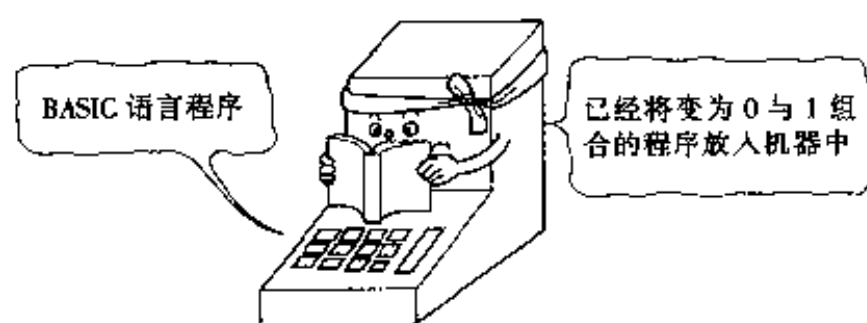


图 8.24 不管哪种语言最终均为 0 与 1 的组合

计算机可以直接理解的 0 与 1 的组的程序语言称为**机器语言**。程序中组成基本的命令大致划分一下有(1)数据传输命令,(2)运算命令,(3)改变程序执行顺序命令等三种命令。

#### (1) 数据传输命令

在计算机中,为了实行各种各样的计算、控制命令,对应于其目的,一个数据有必要在 CPU 内或存储器之间进行来回传输。这样的命令为数据传输命令。从存储器到 CPU 的传输称为**阅读 (Load) 命令**,从 CPU 到存储器的传输称为**存储 (Store) 命令**。

例如,在将存储器的地址 10 号的内容传输到 CPU 的 B 寄存器时,表现为“10 号的内容读入 B 寄存器中”(如图 8.25)。

#### (2) 运算命令

在计算机中,计算的命令为运算命令。运算中有算术运算(加

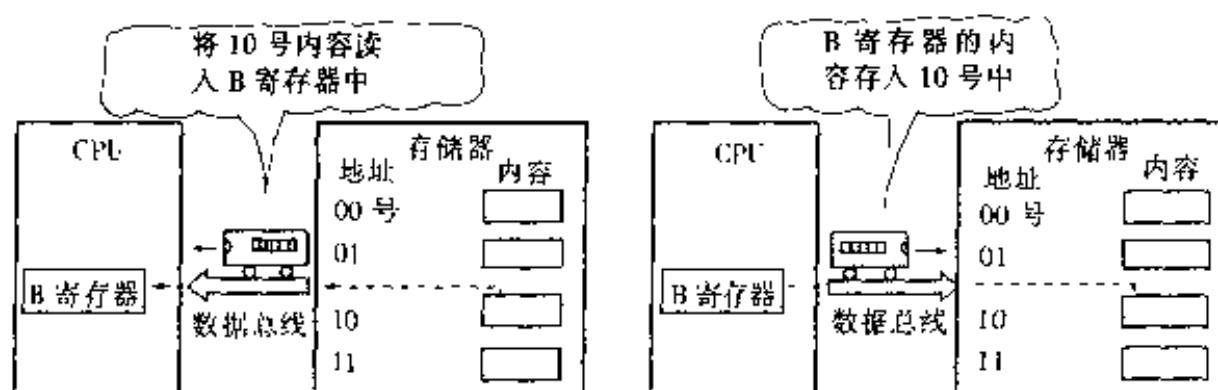


图 8.25 读入与存储

法与减法) 和逻辑运算 (AND 和 OR 等)。算术运算中的乘法与除法利用加法命令与减法命令来进行。

### (3) 改变程序执行顺序命令

计算机是随着程序中的顺序来进行工作的, 但是其执行的顺序并不是只有一条道, 根据情况不同, 也可能有另一种顺序。例如, 对于某一个条件, Yes 和 No 要根据某一个结果来选择, 这时就要有变化顺序的必要 (如图 8.26)。

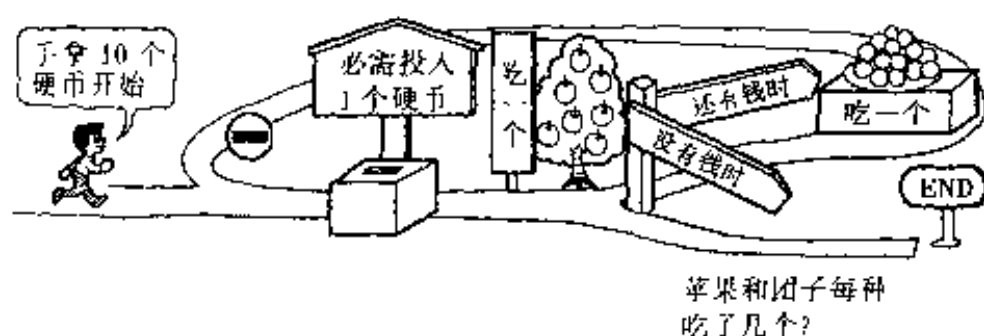


图 8.26 程序不是只有一条路

#### 8.3.5 计算机的内部动作

下面的程序, 假设是预先放入到地址 8000 以后的存储器中, 而且计算中必要的数据, 也先放入 8200, 8201 地址中, 其运算结果放入 8300 地址中。

① 将 8200 地址的数据传输到 CPU 的 A 寄存器中 (读入命令)。

② 将 A 寄存器的内容与 8201 地址中的数据相加, 其结果放在 A 寄存器内 (运算命令)。

③ A 寄存器的内容放入 8300 地址(存储命令)。

1. 将存放程序的存储器的最初地址(8000)设置在程序计数器中,送入地址总线。控制总线上送入读出信息,将存储器 8000 地址的内容,通过数据总线传输到 CPU 的命令寄存器中(图 8.27)。

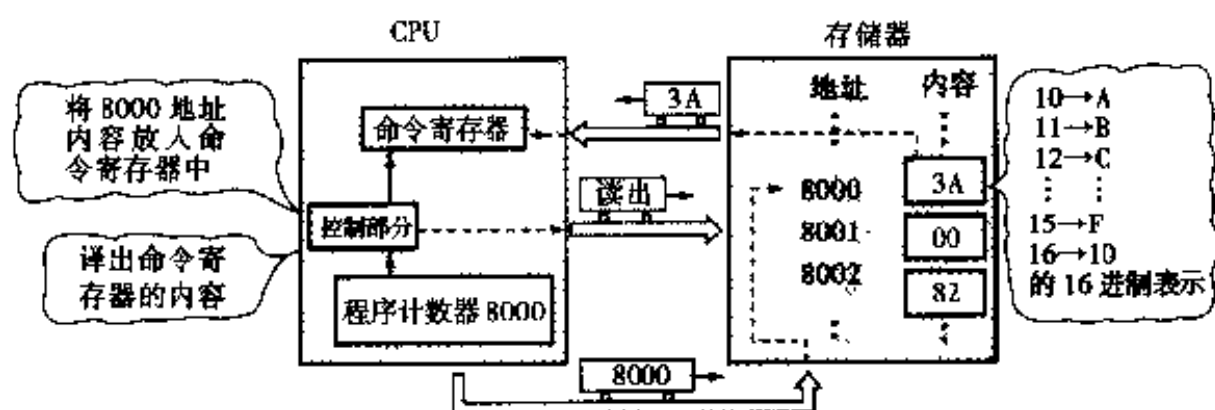


图 8.27 信息的流动之 1

2. 控制部分译出命令寄存器的内容。这时,发出将 8001、8002 地址中所表示的地址(本例为 8200)的数据传输到 CPU 的 A 寄存器中去的命令。为了读出 8001、8002 地址的内容,程序计数器为 8002 地址。

3. 基于控制部分的指示,数据计数器设定为 8200,送入地址总线。送出读出信息,8200 地址的内容送入数据总线,其数据读入 A 寄存器(图 8.28)。

4. 程序计数器设置为下一步的 8003 地址。这个阶段信息的流动与图 8.27 完全相同(这里地址为 8003)。

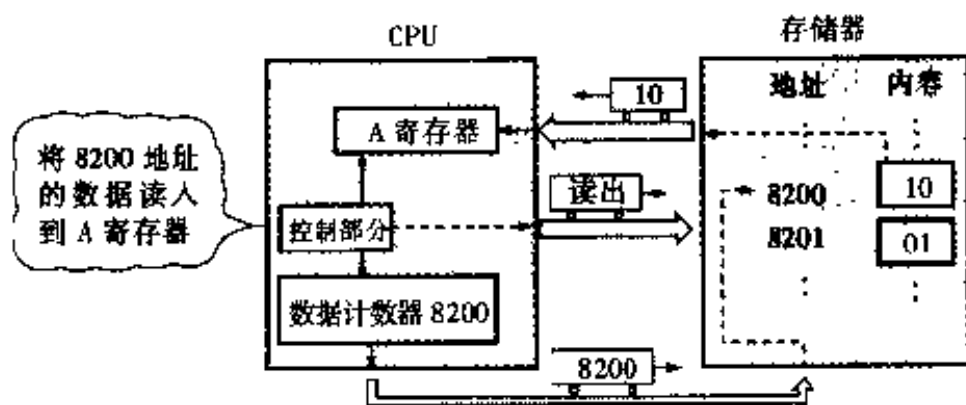


图 8.28 信息的流动之 2

5. 控制部分通过译码, 读出 8004、8005 地址中内容所表示的地址 (这里是 8201) 的数据, 在运算部分将这个数据与放入 A 寄存器的数据相加, 其结果再放入 A 寄存器。

6. 将下一步 8006 设置在程序计数器, 过程与图 8.27 一样, 将 8006 地址内容传输到命令寄存器中。

7. 译码的结果, 数据计数器设置为 8300, 通过地址总线, A 寄存器的内容存入 8300 地址, 结束 (图 8.29)。

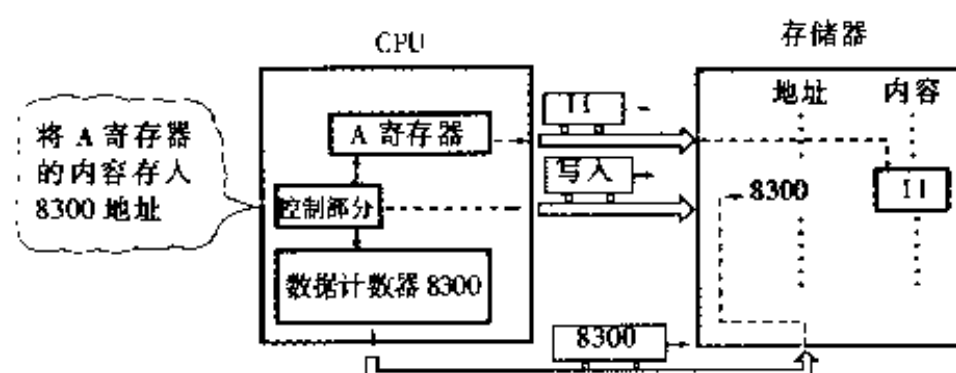


图 8.29 信息的流动之 3

上面是简单地说明了计算机的内部工作的一个例子。即使是一个长长的程序, 也与以上相同, 只不过重复进行以上的工作而已。



## 本章小结

### [1] 数字钟表的机构

- 如同钟表中的钟摆那样, 能使钟表正确地显示时间的, 使用的是晶体振荡器。
- 相当于钟摆钟表中齿轮作用, 记录秒、分、时间部分是 10 进制计数器与 6 进制计数器。
- 相当于秒针, 分针, 时针部分是 7 段荧光管 LED。
- 相当于发条那样, 能使工作持续下去的能源是电源或电池。

### [2] 显示器的驱动方式

为了驱动显示器, 有如图 8.30 所示的静态驱动与动态驱动 2 种方法。静态驱动法是同时驱动全部的显示器, 动态驱动器是不断切换, 1 个 1 个驱动, 由于眼睛的余辉, 看上去是同时显示的。可以使译码器、驱动器与 LED 的连线减少。

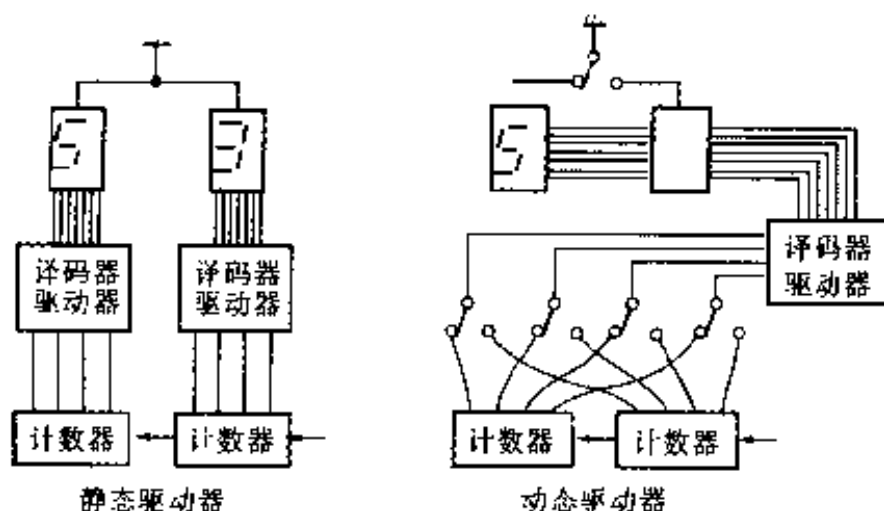


图 8.30 显示器的驱动

[ G e n e r a l   I n f o r m a t i o n ]

书名 = 图解数字电路

作者 =

页数 = 1 8 0

S S 号 = 1 0 9 5 9 5 0 2

出版日期 =

封面  
书名  
前言  
正文