

常用数字仪表原理和使用

【美】W. H. 巴克斯鲍姆著

马清茂 译 沈国键 校

人民邮电出版社

**COMPLETE GUIDE TO
Digital Test Equipment**

Walter H. Buchsbaum

1977

Prentice-Hall, Inc

Englewood Cliffs, NJ

内 容 提 要

本书首先简要地介绍数字测试仪表的基本数字电路、数字显示器的基本原理，然后通俗地介绍“数字万用表”、“数字计数器”、“脉冲和代码发生器”、“频率合成器”以及“逻辑测试仪”等常用数字测试仪表的工作原理、故障检修和正确使用方法。可供数字测试仪表的使用和维护人员以及有关专业的师生阅读参考。

常用数字仪表原理和使用

〔美〕W. H. 巴克斯鲍姆著

马清茂 译 沈国键 校

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1983年9月第 一 版
印张：7 页数：112 1983年9月河北第一次印刷
字数：157千字 印数：1—25,000册
统一书号：15045·总2723—有5298

定价：0.70元

目 录

第一章 数字电路的基本工作原理	(1)
二进制系统.....	(1)
基本逻辑功能.....	(5)
二—十进制和其它变换.....	(13)
数—模 (D/A) 转换	(15)
模—数 (A/D) 转换	(18)
数字开关.....	(23)
第二章 数字显示器的工作原理	(27)
基本显示形式.....	(27)
白炽灯显示.....	(29)
气体放电显示.....	(32)
发光二极管 (LED) 显示.....	(34)
液晶显示 (LCD)	(39)
第三章 数字万用表的工作原理和故障检修	(42)
数字万用表方框图.....	(45)
电阻—电压变换.....	(47)
电流—电压变换.....	(49)
交流—直流变换.....	(50)
数字计时和控制电路.....	(53)
精度.....	(56)
特殊性能.....	(58)
数字万用表的检修.....	(62)

第四章 数字万用表的正确使用方法	(66)
使用合适的探头	(66)
测量交流信号	(70)
测量直流电压	(71)
测量电流	(74)
测量电阻	(75)
用数字万用表测试半导体器件	(76)
屏蔽和接地	(80)
阻抗匹配	(82)
第五章 数字计数器的工作原理和故障检修	(85)
波形的重要性	(85)
计数器的几种基本测量	(89)
典型的数字计数器框图	(94)
高频计数器—变换器	(96)
精度	(97)
数字计数器的检修	(100)
第六章 数字计数器的正确使用方法	(104)
安全措施	(104)
测量频率的分辨力和精度	(105)
测量转数 (RPM)	(108)
测量周期的分辨力和准确度	(109)
时间间隔测量的应用	(110)
脉冲宽度测量	(113)
高频测量	(114)
特殊性能	(115)
第七章 脉冲和代码发生器的工作原理和故障检修	(117)
脉冲参数	(117)

基本脉冲电路.....	(121)
控制器和操作.....	(125)
典型的框图.....	(130)
技术规范.....	(133)
从脉冲发生器到代码发生器.....	(135)
脉冲和代码发生器的检修.....	(139)
第八章 脉冲和代码发生器的正确使用方法.....	(141)
阻抗匹配.....	(141)
调制其它的信号源.....	(145)
测试高保真度音频放大器.....	(147)
脉冲测试电视机电路.....	(147)
代码发生器的实际使用.....	(150)
第九章 频率合成器的工作原理和故障检修.....	(152)
混频原理.....	(153)
锁相环路.....	(155)
分频用的可编程序计数器.....	(157)
倍频电路.....	(159)
频率合成器的基本框图.....	(160)
实际的频率合成器框图.....	(162)
输出信号及控制.....	(167)
频率合成器的检修.....	(168)
第十章 频率合成器的正确使用方法.....	(170)
阻抗匹配的重要性.....	(170)
频率合成器的调制.....	(172)
拍频校准.....	(173)
详细技术规格的含义.....	(177)
频率合成器的维护.....	(179)

第十一章 逻辑测试仪的工作原理和故障检修	(183)
简单的逻辑探头	(181)
便携式逻辑卡片测试仪	(189)
典型的逻辑分析仪	(191)
逻辑分析仪的检修	(199)
第十二章 逻辑测试仪的正确使用方法	(200)
数字集成电路的故障检查	(200)
集成电路为什么会损坏和怎样损坏	(203)
对时序逻辑系统检查故障的策略	(205)
测试组合逻辑的策略	(206)
测试并行操作逻辑的策略	(208)

第一章 数字电路的基本工作原理

我们知道，钟表依靠指针在表盘上所处的位置来指示时间，温度计则根据一定的水银柱高度来表示温度。重量、速度、电压、电流和它的许多物理量都是通过指针在相应刻度上的移动来进行测量的。在所有这些仪表中，显示的是模拟被测的参量。如果参量增加，指针也相应移动过一定的刻度。直到不久以前，几乎所有用于测量物理量的仪表都是采用模拟的原理。

新颖的数字式钟表、温度计、天平以及电子仪表，测量结果直接地用实际的数字来显示。例如，对模拟式手表来说，我们可以粗略地读出3点10分，而数字手表则精确地显示出3:10。与模拟式仪表相比，这种瞬时精密的显示是数字仪表的主要优点。

除了精密性以外，数字测试设备还具有许多其它的优点。比如说，数字式仪表通常就包括有自动显示极性和自动选择量程。这些新颖仪表的关键是应用数字电路来实现二进制逻辑功能。本章将扼要地复习二进制逻辑系统的基本原理和最广泛使用的数字电路。

二 进 制 系 统

我们在日常工作中所使用的数是以十进计数为基础的。可是，在计算机以及几乎所有的数字设备中所使用的数则是以二

	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	
	64	32	16	8	4	2	1	十进数
A								$4+1=5$
B								$32+8+4=44$
C								$16+2+1=19$
D								$32+1=33$
E								63
F								64

注:  灯熄表示零
 灯亮表示数字

图 1-1 二进制数的基本原理

进制或者二值系统为基础的。在这种系统中，所有的数都以 2 的幂次为基础。

图 1-1 说明二进制的基本原理。

假设我们在面板上安装七个小灯泡。当灯发光时，用画阴影线的圆来表示，这意味着一个二进制数或逻辑“1”；而当灯熄灭时，它表示一个二进制数或逻辑“0”。让我们先看 A 行，在最右边的小灯泡，当它发光时，就取数值 1；紧靠着它的小灯泡，发光时取数值 2；第三个灯泡发光时取数值 4 等等，依此类推。如图 1-1 所示的十进制数 1、2、4、8、

16、32和64都是2的幂次。在A行的实例中，划上阴影线的小灯泡代表4和1，它等于十进制数5。

在图1-1中，以B行、C行、D行和E行为例，表示发光灯泡不同的组合方法，用来代表不同的十进制数。通过E行的实例我们可以看到二进制是十分有用的。六个灯泡全部发光代表十进制数63。我们只要改变六个灯泡的开关状态就能显示63以内不同的数。换句话说，六个灯泡两种状态（即开和关）不同的组合，就能表示63个数。为了表示出63个不同的数，需要有六个驱动电路或开关。当我们加上第七个小灯泡时，如图1-1 F行所示，它能表示127个不同的十进制数。每增加一个灯泡，就能使所表示的十进制数加倍。

图1-1中每个灯泡的位置在二进制逻辑中称为一位。通常，在图1-1中右边取最小的有效数位 2^0 ，而左边取最高的有效数位 2^6 。

实际上，图1-1的实例可以表示七位二进制数。不过，为了表示从0到10的任何一个十进制数，却只需要四位二进制数就行。在数字测试设备中显示的总是常用的十进制数，因而二进制电路的设计是为了处理成群的十进制数的输出。用四个二进制数位表示一位（从0到9）十进制数的方法，通常称为二一十进制编码或BCD数据格式。

图1-2表示二进制数，尤其是BCD数怎样相加减。加法很简单——我们只要记住 $1+1=0$ 同时向高位进位，如例B所示。

减法规则稍为复杂一些。计算机实现减法有许多不同的方法，而主要的方法是应用2的补数。在例C中，为了从10中减去5，第一步是先得到二进制数5的补数。我们将所有的“0”变为“1”，同时把所有的“1”变为“0”，然后把结果加1。这样，我们就可以简单地把二进制数10和二进制数5的补

数相加，如步骤 2 所示。

例 D 表示用类似的方法实现从 10 中减去 8 的运算。

加法规则：
 $0 + 0 = 0$ $0 + 1 = 1$ $1 + 0 = 1$
 $1 + 1 = 0$ (向下一位进 1)

例 A:
$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 0 = 10 \\ +\ 0\ 1\ 0\ 1 = 5 \\ \hline 1\ 1\ 1\ 1 = 15 \end{array}$$
 例 B:
$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 0 = 10 \\ +\ 1\ 1\ 0\ 0 = 12 \\ \hline 1\ 0\ 1\ 1\ 0 = 22 \end{array}$$

减法规则: 将减数变为 2 的补码，然后把两个数相加。为了构成 2 的补码，逢“1”变为“0”，逢“0”变为“1”，然后将所得的数加“1”。

例 C:
$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 0 = 10 \\ -\ 0\ 1\ 0\ 1 = 5 \quad (\text{减数}) \end{array}$$

 第一步: 将 0 1 0 1 变为 1 0 1 0 然后 + 1 等于 1 0 1 1，这就是 2 的补码。

第二步: 相 加
$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 0 \\ +\ 1\ 0\ 1\ 1 \\ \hline (1)0\ 1\ 0\ 1 = 5 \end{array}$$

例 D:
$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 0 = 10 \\ -\ 1\ 0\ 0\ 0 = 8 \end{array}$$

第一步: 将 1 0 0 0 变为 0 1 1 1 再加 1
 ($0\ 1\ 1\ 1 + 1 = 1\ 0\ 0\ 0$)

第二步: 相 加
$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 0 = 10 \\ +\ 1\ 0\ 0\ 0 = 8 \\ \hline (1)0\ 0\ 1\ 0 = 2 \end{array}$$

图 1-2 二进制的加法和减法

乘法运算只不过是加法的重复。如果我们要将 4 和 8 相乘，可以简单地将 8 本身加 4 次，在数字逻辑中，大部分乘法是这样运算的。在涉及很大的数和很高运算速度的数字计算机中，使用更简单的乘法运算方法。

二进制除法可以通过重复的减法来实现。例如，我们要用 5 去除 64，通常是从 64 中尽可能多次地减去 5。我们会发现，用 5 减 12 次得到余数 4。象乘法运算一样，通常数字计算机用简便的方法实现大数的除法。

基本逻辑功能

你也许熟悉象与门、或门、与非门和或非门电路的基本逻辑功能。许多优秀的书,包括G.M.Maley的《逻辑电路手册》,都详尽地涉及逻辑电路的课题。在这一节中,我们仅提供简略的提要作为复习,并为本书后面更复杂的逻辑功能提供现成的参考资料。

图1-3表示一种附有布尔符号和真值表、有两个输入端的或门和或非门基本电路。或门电路无论是由两个二极管加上某些电阻,或由TTL逻辑集成电路,还是由MOS大规模集成电路所组成,其逻辑功能总是相同的。如果所采用的是正逻辑,就意味着“1”相当于正电位,而“0”相当于地电位。简单地说,或门电路就是只要输入A或B两者任何一个信号是正的,则输出也将是正的。

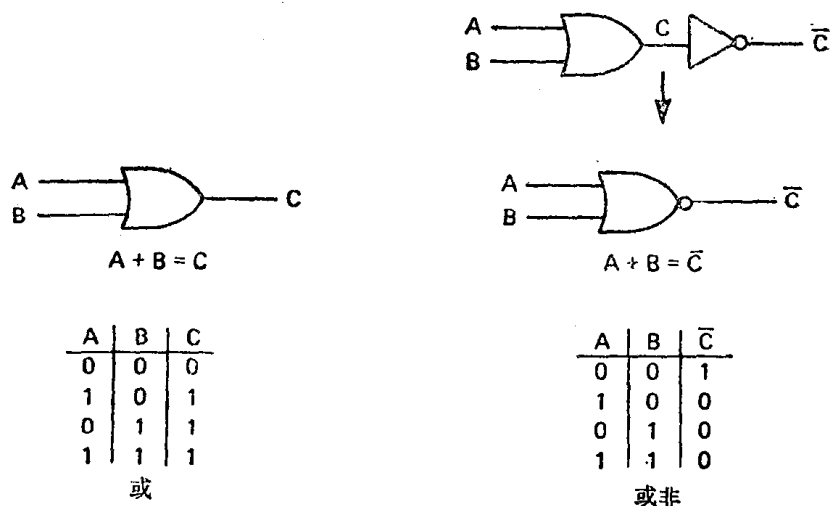


图 1-3 或门和或非门

或非门电路基本上同或门电路一样且以相同的方式工作，但是它的输出信号 C 被倒置了，用符号 $\overline{C}$ 表示。或非门电路真值表中 C 的结果是倒置的。在数字逻辑中，通常称为 C 的补码。

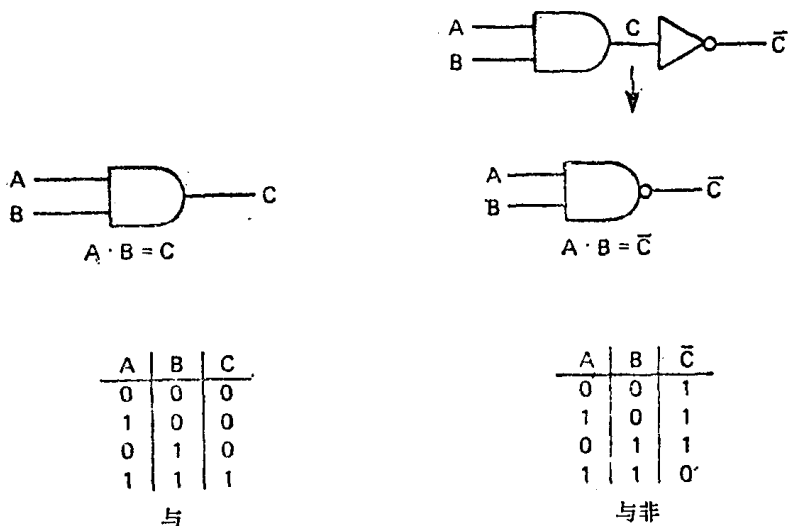


图 1-4 与门和与非门

图 1—4 表示与门电路和与非门电路。为了按照布尔代数描述或门，使用了加号。与门功能则用 $A \cdot B$ 的点积来描述。如真值表所示，只有当 A 和 B 两者都是正时， C 才有正的输出。让我们观察与非门电路，它同或非门电路一样，输出信号是倒置的。我们再一次看到， $\overline{C}$ 是 C 的倒置，或者说，它是 C 的补码。

我们根据正逻辑，已经讨论了四种基本逻辑单元。不过在很多情况下，也常采用负逻辑。有一些逻辑电路，象 CMOS（互补金属氧化物半导体）电路，是正、负逻辑信号的混合。可以看到许多制造厂在逻辑图上的某些地方标明了特殊逻辑的

极性和实际的电压范围，例如，“1” = +5 V 或 “1” = -10 V，这就可以避免出现任何逻辑上的混乱。

图 1-3 和图 1-4 所表示的四种基本逻辑电路通常称为“门”电路，因为它们可以控制逻辑信号的流通。它们可以有两个或更多的输入端，但输出信号只有一个。在或非门电路和与非门电路后部所示的放大器称为反相器。在与非门电路和或非门电路输出处用一个小圆圈来表示它的功能。每当看到这个小圆圈，就表示“1”变为“0”，或者在布尔符号中， A 变为 $\bar{A}$ 。

通过两个或非门电路的组合，我们可以得到一种全新的功能——触发器，如图 1-5 所示。反相的逻辑信号从一个门的输出端反馈到另一个门的输入端形成一个“闭环”，具有暂时的存贮作用。从这一点来说，触发器的作用就象一个扳动开关或继电器。

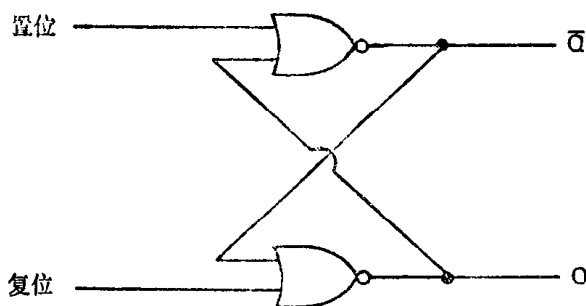
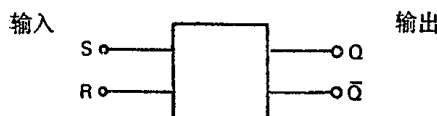
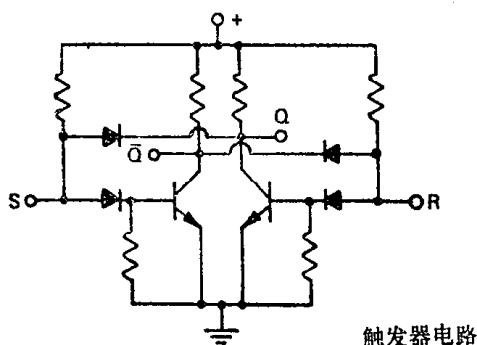


图 1-5 或门连接成触发器

你一定熟悉如图 1-6 所示由两个晶体管组成的基本触发器电路。两个晶体管中总是一个截止，另一个饱和导通。当一个新的信号加到任一基极时，所加信号的极性将决定触发器是否改变它的状态。在没有适当极性的信号输入时，触发器保持

原来的状态。这种特性在数字系统中用来作为暂时存贮器。

基本触发器的第二个重要特性是它对输入信号具有二分频的功能。如图 1-6 的波形图所示，只有正向信号抵达 Q_1 的基极时，才能使它的状态发生改变。输入 1000Hz 的方波信号将产生 500Hz 的方波信号。



触发器符号

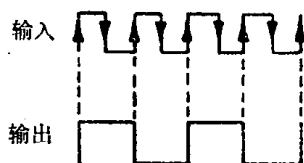


图 1-6 基本的 RS 触发器

当几个触发器如图 1-7 那样连接在一起时，我们就得到简单的分频器或二进制计数器。值得提出的是，为了要在第三个触发器输出一个完整的脉冲，在第一个触发器必须输入八个脉冲。换句话说，三级的二进制计数器可以计数到 8。可是，确切地说，当计数记到 8 时，三个计数器都应该置“0”。通过虚线将与非门连接到触发器 1^* 、 2^* 、 3^* 的三个 Q 端，当计数到

7 时，三个 Q 端都置“1”，计数到 8 时，它们将置“0”。现在再考察图 1—1，注意到三个最小的有效数位 2^0 、 2^1 和 2^2 ，相应地各为数 1、2 和 4，加在一起总数是 7。

在二进制计数器中，按照逻辑门连接到所选触发器输出端的方式，能检出任何需要的数。在以后各章中，我们将讨论具有各种特殊功能的不同计数器，它们的基本工作原理如图 1-7 所示。

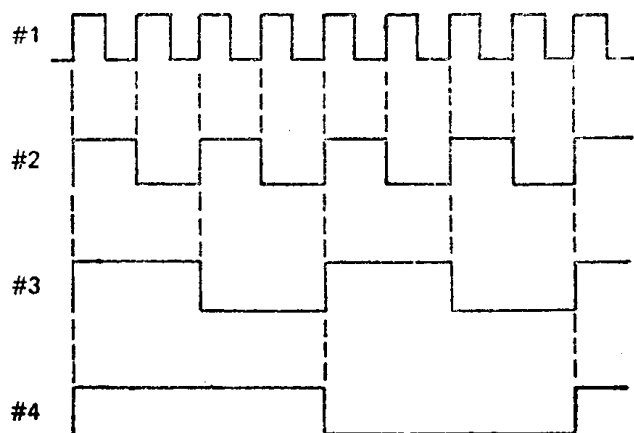
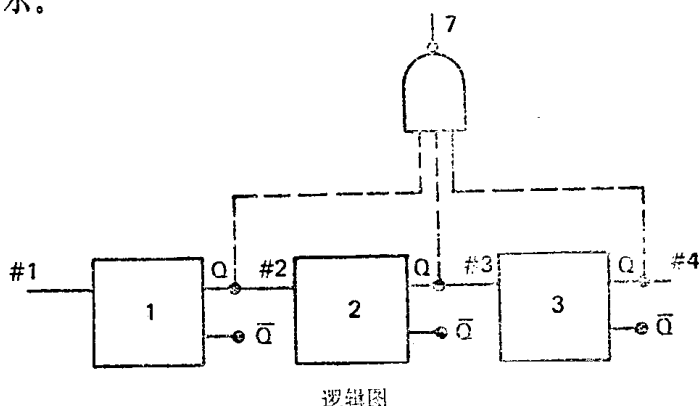


图 1-7 简单的分频器或二进制计数器

在本书所讨论的各种数字测试设备中，经常用到的一种典型计数器和分频器值得一提，这种电路就是图 1-8 所示的十进计数器。它基本上是一个四级二进制计数器，具有输出“2”和“8”的触发器连接到一个与非门，与非门的输出对所有四个触发器置“0”。当计数到10时，全部置“0”。

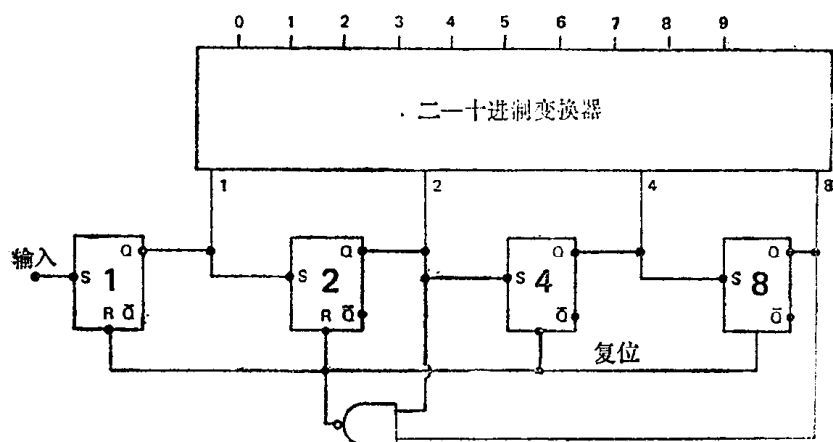


图 1-8 十进计数器分频器

任何频率加到十分频器的输入端，就在它的输出端（图 1-8 中的点“8”）自动地除以 10。十分频器广泛地用于电子计数器、频率合成器以及其它许多数字设备。当所有四个触发器的输出连接到二-十进制变换器时，我们称此种电路为十进计数器，这种电路如图 1-10 所示。把计数器和变换器功能结合在一起的专用集成电路是可以通用的，数字显示器总是表示十进制数的。包含若干个十分频器的大规模集成电路（LSI）是通用的，它的输出频率相应地除以 10、100、1000 等等。

触发器也是移位寄存器的基本单元。移位寄存器有不少类型，如图 1-9 所示的基本移位寄存器，具有串行移位或存储数据的能力。在实际的电路图中，用更多的逻辑门与移位寄存

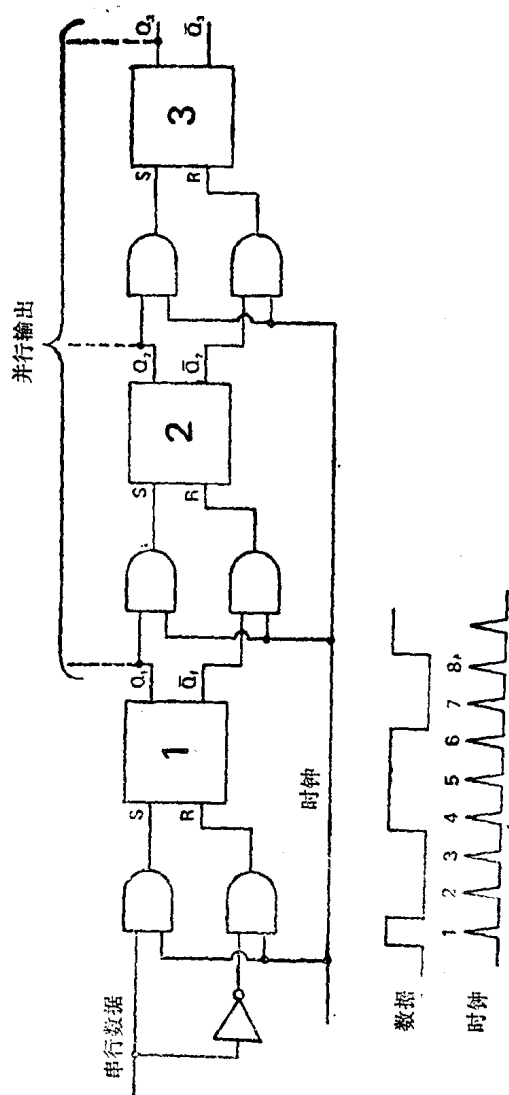


图 1-9 简单的移位寄存器