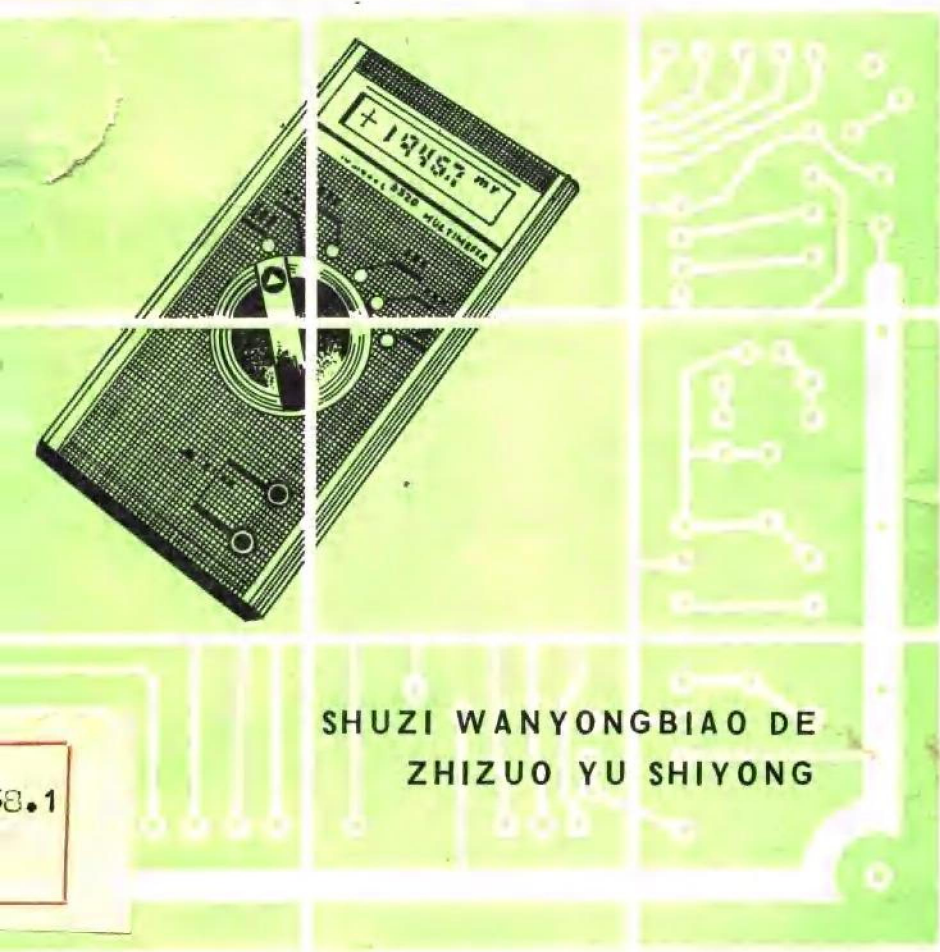


[日] 石桥浩司 佐藤一郎 合著

数字万用表的制作与使用



SHUZI WANYONGBIAO DE
ZHIZUO YU SHIYONG

中国铁道出版社

内 容 简 介

本书主要介绍 $A-D$ 变换器等 CMOS 大规模集成电路在数字化测量仪表中的应用, 以最常用的数字万用表为实例, 全面地说明了数字仪表的设计、制作、调试、使用及维修等问题。全书共分四章: 第一章什么是数字万用表; 第二章数字万用表的制作; 第三章数字万用表的组装与调试; 第四章数字万用表的使用与维修。

本书除供电子行业的职工阅读外, 还适合电子测量工作者及仪表专业人员学习。

デジタルテストの作り方・使い方

石橋浩司・佐藤一郎 共著

オーム社1979

数字万用表的制作与使用

〔日〕 石橋浩司 合著
佐藤一郎

马守礼 译
吴立龙

孙绍明 校

欧姆社 1979

中国铁道出版社出版

责任编辑 倪嘉寒 封面设计 刘景山

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: $850 \times 1168 \frac{1}{2}$ 印张: 6.625 字数: 154 千

1985年3月第1版 第1次印刷

印数: 0001—15,000册 定价: 1.45 元

译者的话

近十几年来,由于集成电路生产技术的飞速发展,微处理器、 $A-D$ 变换器、运算放大器及其他大规模集成电路的品种和产量都急剧地增加。因此,有愈来愈多的科技人员、计量工作者、工人,都希望学习一些有关集成电路应用的知识与技术。

$A-D$ 变换器的应用,是数字化测量领域中的基础技术之一,因为只有把各种模拟性电量变成数字信号后,才能使计算机或其他数字电路发挥作用。也就是说, $A-D$ 变换器的应用,是数字化测量、控制、显示的关键之一。在我国现有的科技书中,介绍 $A-D$ 变换技术或 $A-D$ 变换器件的著作并不缺乏,但它们一般都偏重于理论或是着眼于器件本身的说明,对具体的应用则介绍得不多。

本书以用途最广的数字万用表为实例,利用大量的图表和照片,介绍了数字式测量仪表的基本原理、设计制作、组装调试、使用维修等知识,全面地说明了 $A-D$ 变换器及其他CMOS大规模集成电路在测量系统中的应用。我们把它翻译出版,供有关专业人员学习参考。

在阅读本书时请读者注意:在一些图或表中的电路图里,各种逻辑(门)电路,例如或、与、异或等的图形符号均与我国规定的国家标准不符,书中所用符号与我国国家标准的对照可参见附录。

译出初稿后,蒙铁道部科学研究院高孝胜、王春霖、李祥涛等同志阅,提出不少宝贵的意见,在此一并表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,书中难免还有错误或不当之处,欢迎读者和专家们批评指正。

译者 1984年于北京

前 言

近几年来,随着集成电路的不断发展,大规模集成电路已进入工厂大量生产的阶段。现在,人们已能很容易地买到价格便宜的集成电路。同时,在品种方面,从线性集成电路到数字集成电路,以及各种大规模集成电路大量涌向市场。因此,我们日常使用的家用电器和工业用的电子设备都正在迅速走向数字化、集成电路化。

目前,以集成电路为主、晶体管分离元件为辅的各种电子电路,在各方面都得到广泛应用。因而,有越来越多的非电子技术人员也要求学习、了解和应用集成电路的知识,并且希望自己动手用集成电路制作一些电子设备。

$A-D$ 变换器的作用是把模拟量(如电压、温度等)变换成数字量。多量程数字测量仪表就是一种应用 $A-D$ 变换器的测量仪表,而数字万用表则是它的简化产品。数字万用表具有与指针式万用表相同的功能,但能用数字显示电压、电流、阻值等,是一种用途很广的测量仪表。

为了向学习 $A-D$ 变换器及其应用技术的人员提供一点学习材料,使之通过实际制作能够掌握这些知识,我们编写了这本书。本书主要内容如下:第一章是数字万用表的概要,用方框图说明了 $A-D$ 变换器和数字技术等;第二章介绍了数字万用表的功能和实际电路的工作原理,提供了必要和考虑到的实验数据和元器件的数据;第三章根据著者实际制作的经验,介绍了具体的制造图、元器件的明细表、组装方法、调整方法以及制作要领等;第四章详细说明了读者希望了解的数字仪表误差的估计、数字万用表的使用和测试方法、出现故障时的检查顺序和处理方法等。

为了便于初学者掌握数字万用表的制作技术，本书尽量用图表和数据进行讲解。另外，除了运算放大器，本书使用的集成电路均为CMOS电路。

著 者

1978年12月

目 录

第一章 什么是数字万用表	1
第一节 “模拟”和“数字”	1
第二节 数字技术	6
第三节 模拟-数字变换 ($A-D$ 变换)	10
第四节 数字万用表的功能	15
第二章 数字万用表的制作	21
第一节 数字万用表所用的集成电路	21
第二节 CMOS 电路	29
第三节 本书中使用的集成电路和大规模集成电路	34
第四节 数字万用表的技术指标	49
第五节 制作数字万用表的注意事项	53
第六节 模拟电路部分的方框图和电路图	54
第七节 电压测量电路	58
第八节 电阻测量电路	70
第九节 电流测量电路	75
第十节 模拟-数字变换电路	78
第十一节 负电源及基准电压发生电路	83
第十二节 显示器	90
第三章 数字万用表的组装和调试	105
第一节 有关的图和表	105
第二节 制作中的注意事项	132
第三节 数字万用表的调整方法	142
第四节 调整时必备的测量仪器	153
第五节 没有测量仪器时的调整方法	162
第六节 数字万用表的测试方法	169

第四章 数字万用表的使用和维修	187
第一节 产生误差的原因及其计算方法	187
第二节 数字万用表与电路测试器（万 用表）的比较	191
第三节 使用数字万用表的注意事项	194
第四节 用数字万用表测量时的注意事项	194
第五节 数字万用表故障的简单判断方法	195
附录 常用逻辑门符号对照表	202

第一章 什么是数字万用表

在传统万用表的表头上有许多刻度，如果使用不熟练，常常会读错刻度或数值。然而，对于数字万用表来说，由于电压、电流、电阻阻值等都是直接用数字显示，只要不按错转换开关，一般就不会发生读错数的情况。

在本章中，首先将说明模拟量和数字量的不同特点，然后以计数器为例叙述什么是数字技术，最后用方框图和波形图简单地介绍数字万用表的基本原理。

数字万用表的核心器件是 $A-D$ （模-数）变换器。 $A-D$ 变换器是一种把模拟量（ A ）直流电压变换成数字量（ D ）的电路。数字万用表中使用的 $A-D$ 变换器，一般多采用双积分型变换方式。因此，在本章里将用图解的形式说明双积分型变换的原理。另外，数字万用表还必须有把电阻的阻值、交流电压和电流、直流电流等分别变成直流电压的电路，本章对此也将用图解加以说明。最后，把上述的各电路综合起来，给出数字万用表的总方框图。

本章的目的虽是扼要地介绍数字万用表，但对 $A-D$ 变换器的内容作了详细的说明。

第一节 “模拟”和“数字”

一、模拟量和数字量

时间是一种模拟量，因为从所经过的时间到目前的瞬间，它是一种连续变化的过程。象这种连续变化的量，就叫做模拟量。另外，长度、角度、重量、温度、电压、电流等等，也全都是模拟量。

在计算棒球比赛的成绩时，规定进攻的一方每踏一次本垒算得1分；在换位时，不管有几人在跑垒，只要未踏上本垒都不能得分，因此棒球赛的得分没有小于1的。象这样用某种单位（如棒球赛时为1分）的整倍数来表示的不连续的量就叫做数字量。其他如人数、金钱数等，也都是数字量。

时间是模拟量，能够用数字式钟表以数字量来表示。数字式钟表是以分或秒为单位，例如，在10时45分以后是46分、47分、48分……，是以每1分钟这样不连续的时刻来表示时间。但是，即使是用1/10、1/100秒或者更小的单位来表示时刻，象时间这样的连续量用数字仍然是反映不出来的。因为如果能完全用数字来表示时间，那么时间就变成数字量了。

下面，以图1.1和表1.1为例来比较一下模拟量和数字量的特点。图1.1是用模拟量来表示正弦波变化的电

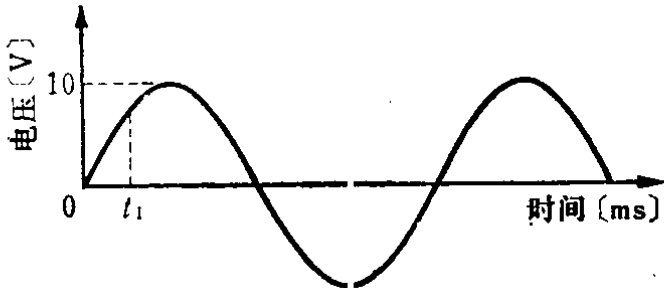


图1.1 电压 $10\sin\omega t$ (V)的模拟表示

压 $10\sin\omega t$ (V) 的波形图；表1.1是用数字量同样表示正弦变化的电压的数据；而表1.2则列出了图1.1和表1.1相比较的项目和结果。

电压 $10\sin\omega t$ (V)的数字表示

$\omega = 2\pi f$
 $f = 10\text{Hz}$

表1.1

时间 (ms)	0	$t_1 = 2.5$	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
$10\sin\omega t$ (V)	0	7.1	10	7.1	0	-7.1	-10	-7.1	0

模拟表示和数字表示的比较

表1.2

比 较 内 容	模拟表示 (图1.1)	数字表示 (表1.1)
在 t_1 时电压为增加的趋向	一目了然	需要比较 t_1 前后的电压大小才知道需要一定的时间
在 t_1 时的电压值为 7.1V	不能立刻知道	一目了然
直观，整个波形为正弦波	很容易看出来	不能立刻判断出来

二、模拟式仪表和数字仪表

对于模拟量电压、电流、长度、温度等，一般都需要经常测量它们的数值大小。这时，我们可以用表 1.3 中相应的仪表来测量，这些仪表可分为模拟式和数字式两大类。

模拟量和仪器 表1.3

模 拟 量	电 压	电 流	长 度	角 度	重 量	温 度	时 间
仪 器	电压表	电流表	尺	分度器	秤	温度计	钟 表

图 1.2 是指针式电气仪表，其指针摆动的角度与被测量的电压的高低成比例。其他如水银温度计的水银柱高度，与所测温度的高低也成比例。由此可见，对于这两种测量，都是通过刻度板看出被测量的大小。这种用刻度来表示测量结果的仪表，被称为模拟式仪表。



图1.2 指针式电气仪表

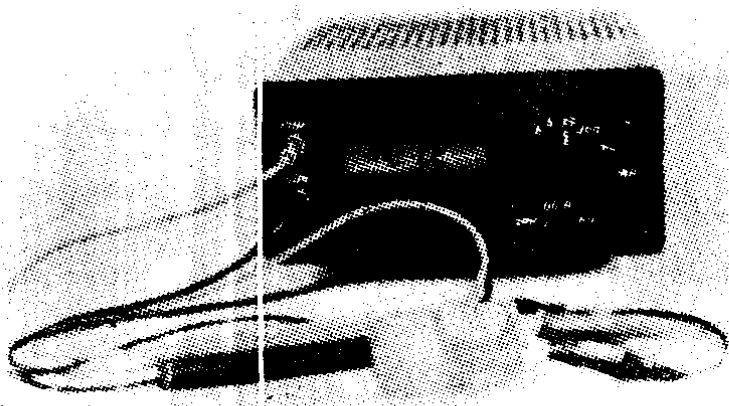


图1.3 数字电压表 (DT-2型数字万用表)

图 1.3 是数字电压表，它可以把被测电压的高低用数字显示出来。凡是能够利用数字技术把输入量的大小用数字显示出来的仪表，就叫做数字仪表。

模拟式仪表和数字仪表比较，在一般情况下有以下不同之处：

- 1. 数字仪表的测量精度，比模拟式仪表高；

2. 模拟式仪表是根据指针和刻度来读数, 会因各人读数习惯不同而产生人为误差; 数字仪表是数字显示, 因此没有人为误差;

3. 数字仪表的读数时间短, 所以能提高测量速度;

4. 数字仪表输出的数字可以打印下来, 并且能直接输入数字电子计算机进行处理, 例如能通过计算机实现很复杂的控制作用; 而模拟式仪表若要与数字计算机连接时, 必须通过 $A-D$ 变换器把它的输出变成数字信号;

5. 模拟式仪表能很快看出增加或减小的趋势。

飞机上的航空仪表是有效地利用这两类仪表特点的一个实例。大家知道, 飞机是高度运用了电子设备, 可以说它上面集中了电子技术的精华。在飞机驾驶员的前面, 排有如图 1.4 所示的模

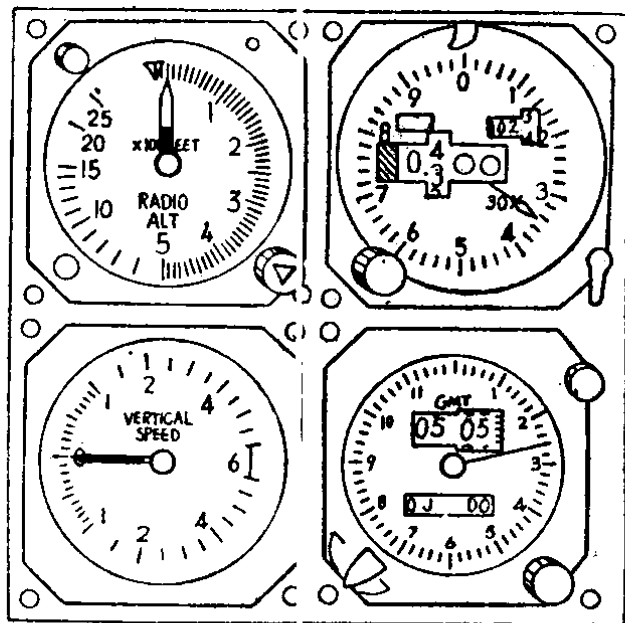


图1.4 飞机仪表板的局部情况

拟式仪表和数字仪表, 观察变化趋势时利用模拟式仪表, 需要精确数值时则由数字仪表读取。这是区分使用模拟式仪表和数字仪表的一个典型例子。

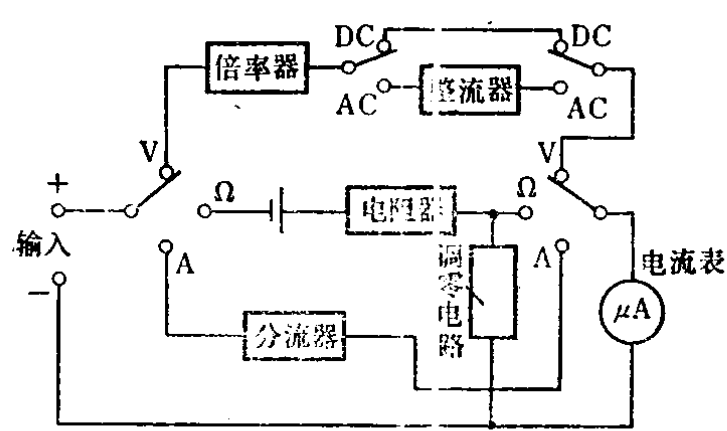
三、数字万用表

把传统的指针式万用表称为模拟式万用表, 把数字化的模拟式万用表称为数字万用表。因而模拟式万用表与数字万用表相比较, 也有上面已讨论过的模拟仪表与数字仪表的不同点。图1.5是模拟式万用表和数字万用表的组成图。从图中可以看出:

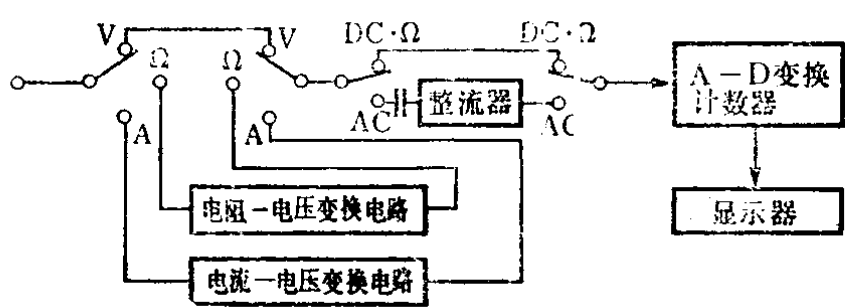
1. 模拟式万用表为指针式显示; 数字万用表为数字显示。

2. 模拟式万用表的主要部件是指针式电流表; 数字万用表则主要用半导体器件, 特别是采用了集成电路, 图中的 $A-D$ 变

换器和计数器等都是主要的集成电路。



(a) 模拟式万用表



(b) 数字万用表

图1.5 模拟式万用表和数字万用表的组成图

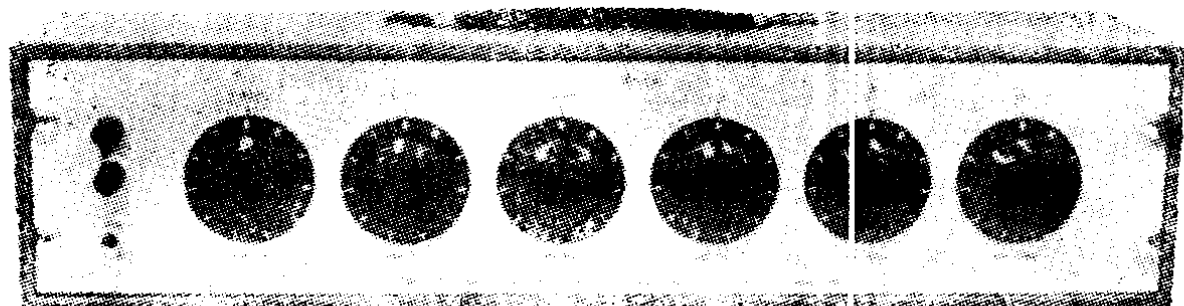
下面，我们再讨论一下模拟式万用表和数字万用表在使用方面的不同之处。

1. 对于模拟式万用表，很容易读错直流电压和交流电压的刻度线，在电压量程不同时也容易读错；使用数字万用表，就不会发生这样的错误。
2. 模拟式万用表电阻阻值的刻度，从左到右的刻线密度逐渐变稀，也就是说它的刻度是非线性的；相对而言，数字万用表的显示则是线性的。
3. 与模拟式电压表的内阻相比，数字万用表的内阻非常高，所以在进行电压测量时后者更接近理想的测量条件。
4. 在测量直流电压时，模拟式万用表如果正、负极接反，指针的偏转方向也相反；使用数字万用表时，它能自动判别并且

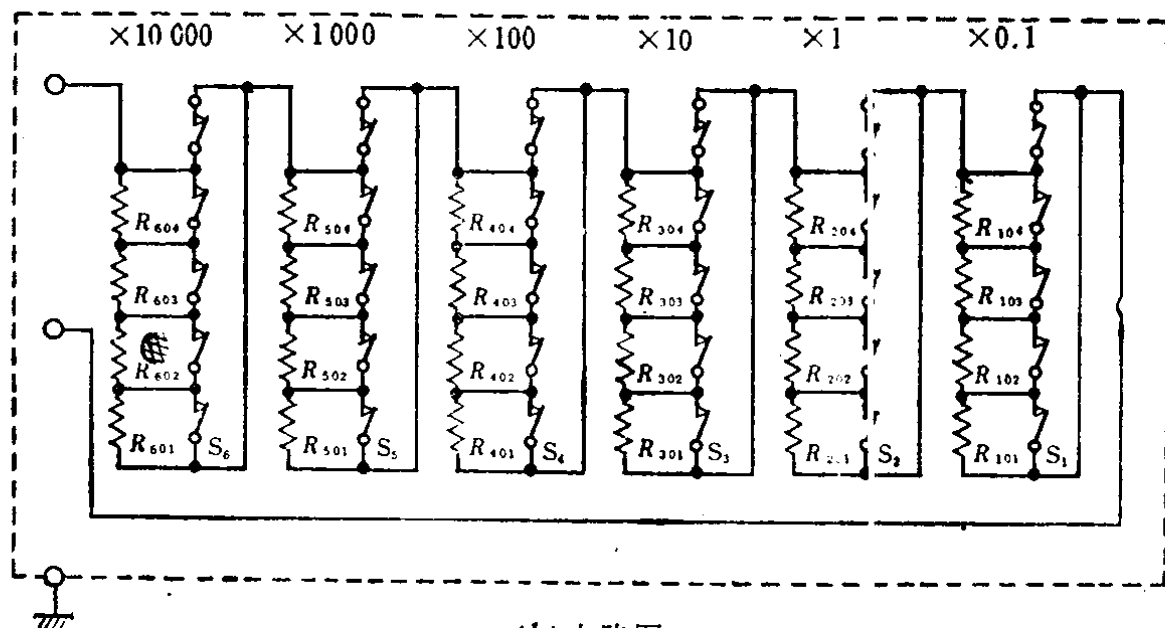
显示出电压的极性，所以用不着考虑接错正、负极的问题。

第二节 数 字 技 术

根据上一节的说明，很多读者可能认为，数字仪表就是用数字显示的仪表。然而汽车里程表，是根据机械的动作用数字显示汽车已经走过的距离；又如图 1.6 所示的 6 度盘（或 6 位）电阻箱，是通过电阻和度盘的组合在面板上以数字刻度显示，来设定我们所需要的阻值，它们都不能算是数字仪表。我们所说的数字仪表，必须是利用数字技术并且用数字显示的仪表。汽车里程表和 6 度盘电阻箱没有利用数字技术，所以都不是数字仪表。



(a) 外观图

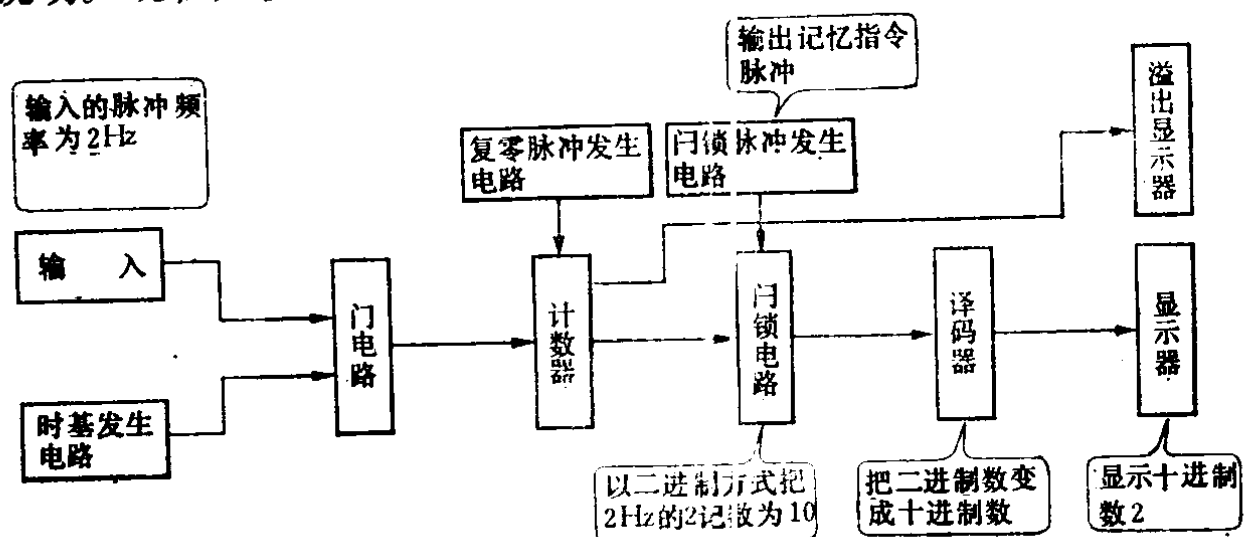


(b) 电路图

图 1.6 6 度盘电阻箱的外观和电路

下面，我们来研究一下数字技术。

大家知道，电子计算机、台式电子计算机及数字式钟表、数字电压表等等，都是应用数字技术的辉煌成果。但是，我们认为，现在与其研究什么是数字技术的确切定义，还不如通过了解数字化电子设备都必须使用的数字计数器的情况，来学习数字技术的基本知识。计数器是一种利用电子技术进行计数的测量仪器，“电子计数”是数字技术的重要内容之一。图 1.7，是我们设想的最简单的计数器方框图，各部分电路的作用，图中都已有说明。现在，仅对它的工作过程加以说明。



波形图

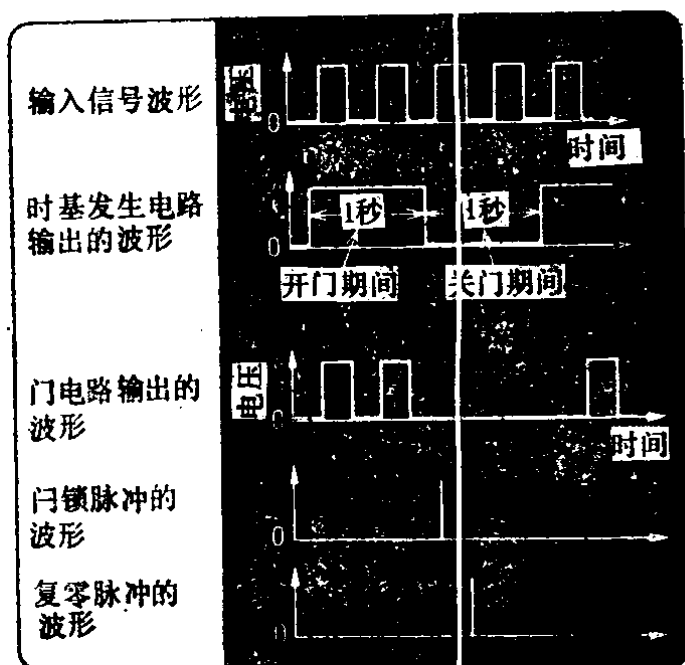


图1.7 计数器方框图和波形图

1. 时基电路产生的脉冲信号, 控制着门电路的开、关; 只有在门电路打开时, 输入信号才能通过它进入计数电路。时基电路产生的脉冲信号, 使门电路交替地开和关各 1 秒钟。

2. 设输入信号的频率为 2Hz 。因此从波形图可以看出, 门电路的输出为每秒钟 2 个脉冲。门电路关闭时, 输入信号不能通过它。

3. 计数器对门电路输出的脉冲进行二进制计数。即对十进制的数 2, 用二进制数表示则为 10 (应读做壹零), 这时计数器的电路将处于 10 (亦读做壹零) 状态。

4. 门锁脉冲发生电路产生门锁脉冲。只有门锁脉冲送来以后, 计数器的电气状态才能写入门锁电路。现在计数器的电气状态为 10, 所以门锁电路也为 10 状态。

5. 复零脉冲发生电路产生复零脉冲。复零脉冲的作用是使计数器的状态复零, 所以有复零脉冲时, 计数器的电气状态将由 10 变为 00。如果没有复零脉冲, 计数器计数 2 个脉冲后, 门电路再一次打开时, 计数器将再计数 2 个脉冲, 则它的电气状态应成为 $2 + 2 = 4$ 的状态。因为我们要求计数器总是显示 2Hz 的值, 所以它必须具有复零功能。注意, 计数器的电气状态在复零脉冲作用下恢复到 00 时, 门锁电路的状态仍保持为 10。因为, 这时门锁脉冲还没有来, 计数器的电气状态还不能写入门锁电路中去。

6. 利用译码器, 将二进制数 10 变换为十进制数 2。

7. 显示器显示数字 “2”, 于是我们可看到亮出的 “2”。

8. 当输入信号的脉冲数超过计数器的计数范围时, 溢出显示器将点亮或闪光, 提醒使用者进行量程转换。

图 1.8, 是比图 1.7 更为详细的 3 位计数器方框图。由图可知, 控制电路可产生复零脉冲和门锁脉冲。其他如计数电路、门锁电路、译码器、显示器等的作用与图 1.7 相同, 所不同的, 只是用 3 位构成的。

下面, 我们来讨论一下它的工作原理。首先, 设输入信号的频率为 123Hz 。

1. 假定门电路打开 1 秒钟，这期间将有 123 个输入脉冲通过它。

2. 个位计数器计数到 9 的脉冲数，当第十个脉冲到达时，它将向十位计数器进位。

3. 个位和十位两个计数器，最多可以计到 99 个脉冲。当第 100 个脉冲到达时，向百位进位。

4. 在 123 个脉冲 百位计数为“1”、十位计数为“2”、个位计数为“3”。注意，在计数器内部是按二进制计数的。

5. 计数电路计数的结果，经过门锁电路、译码器之后，显示器显示出“123”。3 位的计数器门电路打开的时间(开门时间)为 1 秒时，能计数 999 个脉冲。当第 1,000 个脉冲到达时，溢出显示器就亮灯。

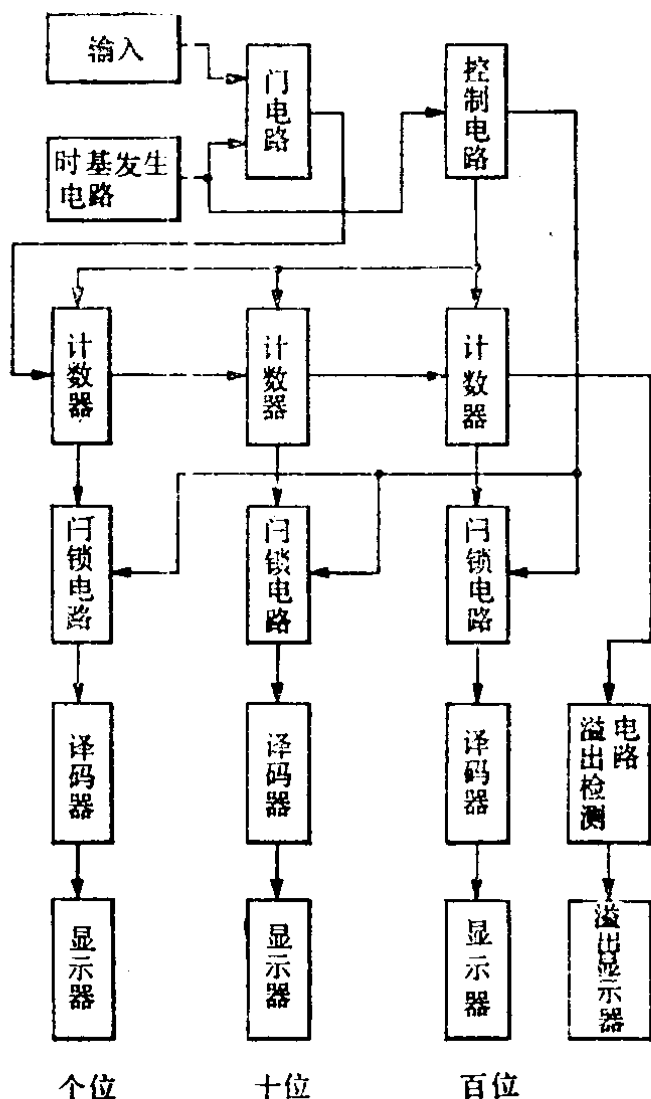


图 1.8 3 位计数器方框图

3 位计数器最多只能计数 999 个脉冲，这是难以满足实际需要的。但是，如果把开门时间改为 1ms，则计数器的量程可增大到 1,000 倍。例如，1ms 内能通过 123 个脉冲，就相当于 1s 内能通过 $123 \times 1,000$ 个脉冲。因此，使用计数器测量输入信号的频率时，可按以下换算：

1. 门电路开门时间为 1s 时，频率的单位为 Hz；
2. 门电路开门时间为 1ms 时，频率的单位为 kHz。

以上，是以数字技术对计数器工作原理作的说明。计数器的

内部运算，采用二进制方式。二进制数中，只使用 1 和 0 两种数字。我们用二进制数中的 1 和 0 来代表电压状态，例如用“1”代表高电位，用“0”代表低电位。

数字技术就是巧妙地运用“1”和“0”、两个值进行计算、存储、符号变换等的技术。数字技术已广泛地应用于各种电子设备之中，数字万用表只是其中之一。

第三节 模拟-数字变换 ($A-D$ 变换)

一、 $A-D$ 变换器的分类

图1.9是把模拟量的直流电压使用数字表示方法的方框图。此图是为了解 $A-D$ 变换器的作用而简化的。其动作如下：

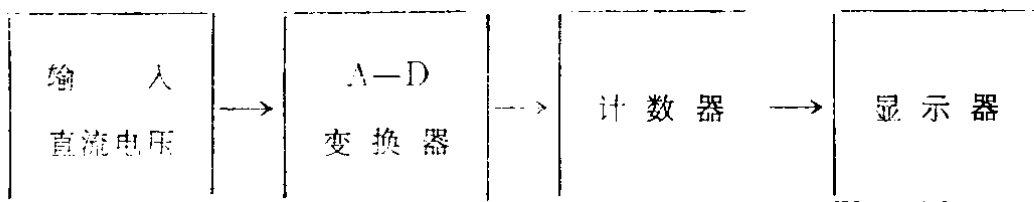


图1.9 $A-D$ 变换器的作用

1. 输入的模拟量是直流电压。
2. $A-D$ 变换器的作用，是将模拟量直流电压变换成数字量脉冲数输出。例如，输入电压为1,000mV，它的输出为1,000个脉冲；输入为500mV，则输出500个脉冲。
3. 计数器的任务是计数这些脉冲数，而显示器则以数字形式显示输入电压的值。例如，输入电压为1,000mV时，计数器输出十进制数1,000的代码，显示器就显示1,000mV。

由以上三点说明，可知 $A-D$ 变换器是一种将模拟量变换成数字量的器件。根据变换方式的不同， $A-D$ 变换器可按如下的分类：

1. 瞬时值变换方式
 - (1) 逐次比较型
 - (2) 跟踪比较型