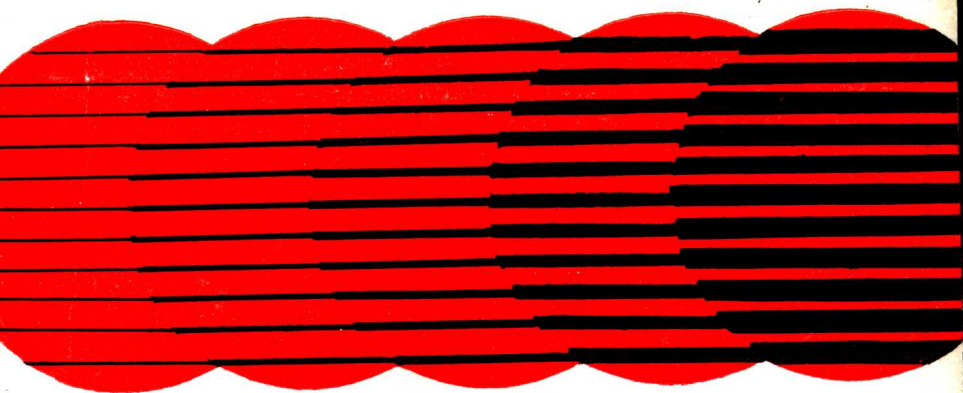


数字仪表与显示器件

马兰皋 编著
孟昭英 审校



数字仪表与显示器件

马兰皋 编著

孟昭英 审校

电子工业出版社

内 容 提 要

该书论述了数字仪表与显示器件的发展现状及发展趋势,阐述了数字仪表所用的各种基本线路和显示器件的结构和性能,叙述了各种实用仪器的结构和线路。著名电子学专家孟昭英教授审阅了全书并为本书撰写了前言。

本书通俗易懂,可供有一定无线电基础知识的读者阅读,也可供这方面的学生作为参考书。

数字仪表与显示器件

马兰皋 编著 孟昭英 审校

●
责任编辑:魏永昌

电子工业出版社出版(北京海淀区万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

北京华新印刷厂印刷

●
开本: 787×1092毫米 1/32印张: 5.375 字数: 123千字

1989年12月第一版

1989年12月第一次印刷

印数: 1—4500册 定价: 2.40元

ISBN 7-5053-0641-3/TN237

前 言

能够用量的概念描述的才是科学；而以能用数字度量的叫做精密科学。举凡一切物理量莫不能用数字表达。按其性质的不同精疏各异。例如，有的只能达到数量级的程度（如宇宙的大小），而有的则可精确到 10^{-12} （如时间或频率）。不论如何，这些量都要用仪表显示出来，才能被读取。

常见的仪表多半是采取刻度（如温度计）或用指针（如电流计）的形式。这些仪表的精度最多只能达到千分之一。要达到更高的精度则需用比较平衡指零的方法，即以已知数量的标准（如天秤的砝码）来与待称的物量（如待称的物体重量）进行比较，直到达到平衡。不管怎样，越是要求高的精确度，就越要求有高精度度的标准和难于即时获得读数。

近代科技与生产里用的仪表绝大多数是电的仪表。即使待测的是非电量，一般也是用换能器将它变为电量来测量和显示。现在已有很高精度度的电阻、电压、电流、和时间（或频率）的标准作为仪表内部装备的对比值，所以数字仪表可以给出精度很高的读数。它的另一些优点是无惯性，可以动作很快，能够即时给出较准确的数值；并可自动记录下来，用图形表示出来；还可以用来对其它过程进行自动控制。因此无论是科技研究，还是工业生产，现在的趋势是指针式的仪表将在很多方面逐渐被淘汰，而代之以数字仪表。这是时代对仪表的要求，而数字仪表的出现也对科技和生产起了促

进的作用。

数字仪表和显示器件是多种多样的。初使用者或计划使用者既不知基本原理，也不了解其结构与性能，至于具体的仪表和显示器就更难于进行选择和运用了。因此就需要有一本书来对它们进行介绍。

马兰皋同志编著的《数字仪表与显示器件》一书正是为了满足上述的要求而写的。它于第一章绪论中指出了此类仪表的现状与发展趋势；第二、三章阐述了仪表中所用的各种基本线路和显示器件的结构和性能等；然后在第四、五、六、七等章叙述了各种实用仪器的结构或线路等。

此书的前二、三章曾经得到已故的冯秉铨教授的审阅和修改。此次又命我先读一遍。我也曾提出一些修改或删减的意见。我觉得此书写得条理清晰，层次分明，简要易懂，数据可靠，这是作者多年来对资料的搜集和实践积累与总结的结晶。今将付梓，命我为序，特书此以应。

孟昭英

1987 年于北京

目 录

第一章 绪论

- 一、数字仪表的近况和发展趋势…………… (1)
- 1. 数字仪表的历史水平和发展趋势…………… (1)
- 2. 电子计数器的近况和发展趋势…………… (4)
- 二、概述…………… (6)
- 1. 直流数字电压表、交流数字电压表的分类及其比较… (8)
- 2. 数字仪表的主要技术指标与关键元件的关系…………… (9)
- 3. 结构和使用的元件…………… (11)
- 4. 标准化、系列化与质量管理…………… (12)
- 5. 数字仪表的分类…………… (13)
- 6. 多功能组合式的数字测量仪器…………… (14)
- 7. 数字仪表与指针式仪表、电位差计及电桥的比较…… (15)
- 8. 计数器的应用举例…………… (16)

第二章 数字仪表的基本知识和工作原理…………… (23)

- 一、门电路…………… (23)
- 1. “或门”电路…………… (26)
- 2. “与门”电路…………… (28)
- 3. “非门”电路…………… (30)
- 4. “与非门”电路…………… (31)
- 5. “与或非门”电路…………… (34)
- 二、双稳态触发电路…………… (36)
- 1. 集-基极耦合双稳态触发电路…………… (36)

2. 触发器的触发方式	(38)
-------------------	------

三、施密特触发电路	(46)
-----------------	------

四、单稳态触发电路	(47)
-----------------	------

1. 直接耦合单稳态触发器	(49)
---------------------	------

2. 发射极耦合单稳态触发器	(50)
----------------------	------

五、无稳态触发电路	(50)
-----------------	------

六、双稳态, 单稳态和无稳态触发电路的比较	(58)
-----------------------------	------

第三章 数字仪表的数字表示方法、读数显示、显示器件及计数电路	(60)
---	------

一、数字的表示方法	(60)
-----------------	------

1. 二进位制数的表示方法和它的优点	(60)
--------------------------	------

2. 十进位制转换成二进位制	(62)
----------------------	------

二、数字仪表读数的显示与显示器件	(67)
------------------------	------

1. 显示器件的分类	(68)
------------------	------

2. 辉光数码管	(69)
----------------	------

3. 投影式显示	(69)
----------------	------

4. 荧光数码管	(70)
----------------	------

5. 磷光体数码管	(72)
-----------------	------

6. 发光二极管	(73)
----------------	------

7. 等离子体数字的显示	(74)
--------------------	------

8. 液晶显示	(90)
---------------	------

三、计数电路	(97)
--------------	------

第四章 数字电压表	(102)
------------------------	-------

一、数字电压表的精度	(103)
------------------	-------

二、数字电压表的适用范围和分类	(103)
-----------------------	-------

三、数字电压表的类型和工作原理	(105)
-----------------------	-------

1. 时间编码数字电压表	(105)
--------------------	-------

2. 反馈编码数字电压表	(108)
3. 积分编码数字电压表	(110)
第五章 数字Q电流表、数字电压表-欧姆表	(118)
一、数字Q电流表	(118)
二、数字电压表-欧姆表	(120)
第六章 数字表, 探头式数字万用表	(123)
一、数字表	(123)
二、探头式数字万用表	(123)
1. 主要技术性能	(125)
2. 使用方法	(126)
3. 交流电压, 电阻的测量	(126)
4. 模-数变换	(126)
5. 数字部分的单片集成电路	(130)
6. 混合式集成电路	(130)
第七章 半导体管电子计数式频率计	(133)
一、概述	(133)
二、E312型频率计的主要技术性能	(134)
三、电路组成	(136)
四、测量方法	(140)
1. 一般的测量方法	(141)
2. 频率A的测量方法	(144)
3. 时间B, 测量两相邻脉冲的时间间隔	(144)
4. 时间B—C的测量	(145)
5. 周期B的测量	(149)
6. A/B的测量	(145)
7. A/B—C的测量	(149)
8. 计数A的测量	(149)

9. 将输入信号分类	(146)
10. 输出信号	(148)
附录	(148)
一、数字仪表、变换器、显示装置、测量技术的专用名 词及术语的解释	(148)
二、一些国家数字仪表水平的比较	(154)
三、常用显示器件的特性和比较	(155)
四、电子基本符号或字母	(157)
五、希腊字母	(158)
六、按电阻、电容和电感的数值所采用的单位 代号	(159)
参考书目	(160)

第一章 绪 论

一、数字仪表的近况和发展趋势

1. 数字仪表的历史水平和发展趋势

从1952年美国的非线性系统 (Non-Linear systems) 公司首次制成数字仪表到今天, 已有三十多年的历史。随着电子技术的飞速发展, 数字仪表也得到了迅速的发展和提高。从国外主要生产数字仪表的国家来看, 美国生产数字仪表最早, 各方面的发展比较全面。半导体管、薄膜, 半导体集成电路也都是首创。

比较式数字仪表为美国的所长, 如SM215型0.0002%数字表, 1776型计算数字表都有较高水平。

日本在1966年也制成二次积分式数字仪表和脉冲调宽式数字仪表系列, 其中由武田理研公司生产的频率计名列首位。

法国以生产多用的数字仪表著称, 也具有较高的水平。西德生产的数字仪表也达到了世界先进水平, 如Nanomat公司的9208型已制成7位数字仪表。

苏联的理论研究水平较高, 但元件工艺水平差, 例如, 利用霍尔效应制成的功率表, 有些国家误差可达到0.3%, 而苏联只能做到误差为1%。

我国数字仪表的研制工作是从1958年开始的, 首次研制

出机电型逐次比较式数字电压表，所用的元件是电子管和电磁继电器。1960年研制成数字频率表，计数速度为1 MHz，精度为 10^{-6} 。1964年研制出斜波式数字电压表及逐次比较式数字电压表，所用的元件还是电子管和继电器的，精度为 $\pm 0.1\%$ 。

随着我国电子工业的飞速发展，半导体管大批投产后，采用半导体元件的数字仪表相继出现。1965年研制的高精度逐次比较式数字电压表，精度为 $\pm 0.02\%$ 。同年又研制成高精度斜坡式电压表（精度为 $\pm 0.02\%$ ）及V-F型积分式数字电压表（精度为 $\pm 0.05\%$ ）。上述数字仪表除个别元件采用电子管外，绝大多数已采用半导体管制成。

1966年后研制出新型的脉冲调变型积分式数字电压表（精度为 $\pm 0.01\%$ ），相继又制成二次积分型积分式数字电压表（精度为 $\pm 0.01\%$ ）。1970年又制成数字万用表并已投入生产。

近年来，随着我国电子工业在集成电路方面的迅速发展，集成电路数字仪表相继出现。1974年采用中规模金属-氧化物-半导体（MOS）逻辑门电路，互补金属-氧化物-半导体逻辑门（MOS）电路及线性集成电路研制成的数字万用表，与三级管逻辑集成电路比较，中规模金属-氧化物-半导体逻辑门（MOS）电路具有集成度高，抗干扰能力强等优点。特别是互补MOS电路还具有低功耗的优点，它可以使数字仪表趋于小型化和低功耗。

另外，采用中规模金属-氧化物-半导体逻辑门（MOS）电路制成了数字安装式电表。除上述仪表外，还研制出数字功率表，数字式测长仪，数字高斯计，数字温度计，液晶数

字钟及数字相位表等等。

由于对数字仪表提出了越来越高的要求，如高精度，高可靠性，高速度，低功耗，小型化等，而电子元件的质量对于数字仪表的发展又起着关键的作用；因此，对元件的要求也愈来愈高。如要求线性集成电路的温度漂移小于 $10\text{W}\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ；要求基准电压用的硅稳压管的温度系数小于 $5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ；要求其功耗小于 5mW ，要求输入阻抗高；还要求把 n 只线性集成电路做在一个片子内，有的要求将场效应管差分级做入线性集成电路；要求生产孪生结型场效应管；要求场效应开关管的导通电阻小于 50Ω ；还要求将模数转换器做在一只集成电路片子内，以使仪表趋于小型化及要求使用微功耗的液晶显示元件等等。

近几十年来，测量技术发展的主要趋势是：

第一，从模拟测量技术向数字测量技术发展，从单一的一个通道的测量向综合的多通道的测量发展；从单个仪表向测量信息系统过渡。

第二，各种非电量测量变换成统一量（时间、频率、直流、电压）后进行测量。

第三，由半导体分离元件向集成电路过渡。

前两个方面，如果没有数字仪表是做不到的，结合测量技术的要求，数字仪表的发展趋势如下：

（1）高精度、高灵敏度

目前数字电压表的最多位已达 7 位，以剩余再循环的方式制造的数字电压表有 8 位，精度为千万分之二（ $0.2\text{微伏}/3\text{个月}$ ）。

（2）造价低

制造廉价的数字仪表，以使其在更大范围内代替指针式仪表，其方法是降低成本和一表多用。

(3) 体积小、重量轻、稳定可靠。

数字仪表中已大量采用半导体集成电路，液晶显示，以减小体积，减轻重量，提高可靠性。

(4) 参数范围大，并实现了自动化。

测量电阻的数字表，也能测量感抗和容抗，并能对测量结果进行平均计算、误差计算等数据处理。

(5) 研制全模拟型的计算仪表

从整个仪表的发展情况可看出如下顺序：指针仪表→电子仪表→数字仪表→计算式仪表。头两种是连续指示仪表，后两种是数字仪表。计算式仪表是按被测量的数字方程（动态的）来测量的，因此它可以测量各种波形的参数。计算式仪表进一步应用了计算技术。

2. 电子计数器的近况和发展趋势

从1950年美国的Beckman公司首次制成的用氖灯纵列显示的频率计算器，随后1952年美国Howlett Packard（简称HP公司）研制的用数码显示的HP524型10MHz计算器以来，随着电子技术和测量技术的进展，电子计数器也得到了飞速的发展。目前新产品、新技术不断涌现，电子计数器也相应地采用了最先进的电路元器件和新的线路，使其性能更趋于完善。目前电子计数器的性能近况是：直接计数能力达1000MHz以上，采用预定标法达1500MHz以上，手动外差法达21GHz，自动外差法达24GHz，取样置换法达23GHz，置换外差法达32GHz，自动置换振荡器法为40GHz，如果采用多功能的设备或配合测量系统，还可达到更高的测频上限

值(如100GHz、150GHz)。计数在信号方面不仅用于连续波、调幅波、调频波,还可以测量脉冲信号,脉冲群和脉冲调制载频。采用机内晶体振荡器,其测量的稳定度一般可达 5×10^{-10} /天数量级。测量时的分辨能力已达0.1pS。由于电子测量技术的发展需要,电子计数器已经改进为一种多功能多用途的仪表,即一台仪表具有十几种功能,例如万用表功能的计数器,除一般的用途外,还可进行电压、电流、电阻、电平和电容等的测量。在仪表结构方面的发展,主要是采用了集成化、小型化、便携式。在引进了计算技术,特别是引入微处理器和标准接口母线后,电子计数器得到了新的发展,使电子计数器更趋于系统化、自动化。随着测量技术的高度发展,对于频率和时间的测量已处于首要位置,因此,高稳定度和高准确度的频率标准就更加广泛地需要,研制成功的原频标的新产品将不断出现。

目前电子计数器的高档机器内所采用的小晶体振荡器的主要指标“日老化率”一般还未超过 5×10^{-10} /天。对于比较成熟而适用于生产的机外频率标准主要有下面几种:

铷泡原子频标,石英晶体振荡,铯束原子频标,前两种可以做得比较小,适合生产应用;由于铯束管的发展,铯束原子频标的体积和重量也可大为减小;氢脉泽频标的频率稳定度最高,可达 $10^{-14} \sim 10^{-15}$ 量级,但比较笨重,大量生产受到一定的局限性。

由于新技术、新工艺的不断改进,仪表的可靠性和精确度也不断提高,目前数字式仪表连续工作达5000小时以上不出故障的指标已得到实现。

二、概 述

现代生产体系是以自动化为其主要特征的，而自动化的过程控制及结果的显示，主要借助于数字仪表与显示器件。

四十年代后，由于通信和自动化生产实践的发展以及电子技术的突飞猛进，导致了数字仪表的出现。同时由于对电子测量技术提出了更高和更新的要求，一般测量仪表已远远不能完成测量任务，如高精度，高灵敏度以及自动化等等。1952年数字仪表的问世，就是适应客观要求并基于这种情况下产生和发展起来的。

现代电子工业的电子计算机、工业自动控制、电视、雷达、遥控遥测、电工及电子测量等方面，都已广泛地应用着数字仪表。它的精度比模拟式仪表高，读取速度快，直接以数字显示，所以在工业上，科研上都显示了广阔的前途。目前，在许多方面它已取代了多年来一直占据着统治地位的指针式仪表、电位差计以及电桥等测量仪表。

所谓数字仪表，就是将连续的被测电量自动取样，而后接受数字编码并将测量结果以数字形式显示出来的仪表。指针式仪表通过内部结构和指针、标尺刻度得出测量结果，而不是由数字形式得出结果。电位差计和电桥虽然是通过数字形式得出测量数据，但是它必须要人工参与其测量过程，进行平衡后再得出结果，它不可能自动地进行测量。

数字仪表的品种纷繁，大多数是根据仪表的用途和性能进行分类的，如电压表、频率表、相位表、欧姆表、电流表、瓦特表、钳形电流表、万用表、功率表、法拉表、Q表等

等。另外还有非电量测量的专用数字仪表；如转速、角位移、温度、拉力、压力、重量、长度、流量、水位及厚度等。现在医学上也大量应用数字仪表，如脉搏计等。它们都是通过相应的变换以间接的方法来测量其数值的。

数字仪表的技术基础是测量技术、计算技术和电子技术。数字仪表按照测量的参数和动作原理分类，又可按其用途分成实验室、通用，开关板数字仪表。

数字仪表基本上有测量和进行物理量的变换两种用途。

从首次制成的四位数字仪表以来，数字仪表已有二十多年的历史，伴随着电子元件的急剧发展，数字仪表也得到了迅速的发展和提高。从一只仪表只能测一两种参数到能测十几种参数；从机电式元件到全固体化；从只在实验室里用于标准测量和校验到控制生产过程装置中被大量地应用；从只能测量电量到可测量各种非电量、到现在已被应用于数据处理系统、各种元件的自动分选和特性的自动测量系统，巡回检测等系统。

测量精度上（以直流电压为例），几年来逐步跃升，从 $10^{-3} \rightarrow 10^{-4} \rightarrow 10^{-5}$ 到 10^{-6} 数量级；测量参数不断扩展，例如最初只能测量直流电阻，而目前能够测量交流阻抗，又分为容抗、感抗直到整个阻抗；测量的自动化程度不断提高，并进一步应用了计算技术，实现了测量结果的存贮、平均、误差计算等。还出现了能直接模拟被测量数学方程的所谓计算式数字仪表。这些无疑都将给动态测量技术开创广泛的前途。近期也出现了数字和指针相结合的仪表，以便相互补偿各自的不足。

数字仪表测量的一些电参数的指标如表 1-1 所示。数字仪表其它性能如表 1-2 所示。

表1-1 数字仪表测量的一些电参数的指标

测量参数	直流电压	交流电压	电阻	功率	相位	频率	时间
精度	0.002~ 0.2%	0.01~ 1.0% (10~20) GHz	0.01~10%	0.01~ 1%	0.03°		0.1μS
测量范围	1μV~ 16kV	10μV~ 1.2kV	10 ⁻⁴ ~ 10 ⁹ Ω	1nW~ 20kW	0~360°	21GHz	0~10 ⁵ S
灵敏度	0.01~ 1μV	1μV	10 ⁻⁴ Ω (0.1mΩ)	0~1 MHz	0~25 MHz	1mV	

表1-2 数字仪表的其它性能

参数	输入阻抗	干扰抑制	测量速度	重量	尺寸
范围	100kΩ~ 10 ⁵ MΩ	CMR 180dB NMR 120dB	1次/3秒~ 20千次/秒	最轻只有 250克以上	最小为76× 45×38mm

数字仪表的技术水平：这里主要叙述直流电压表，测量其它参数的仪表，只选突出的问题概述。因为其它一些参数一般都可变成直流电压，然后用直流电压表加以测量（频率、相位、时间除外，因为它们属于直接变换的量）。

1. 直流数字电压表、交流数字电压表的分类及其比较

(1) 直流数字电压表按工作原理可分为四类：见表1-3。

(2) 交流数字电压表按工作原理可分为三类：

第一类为检波式；第二类为热偶式 { 单热偶式；
双热偶式 }；第三类为计数式。