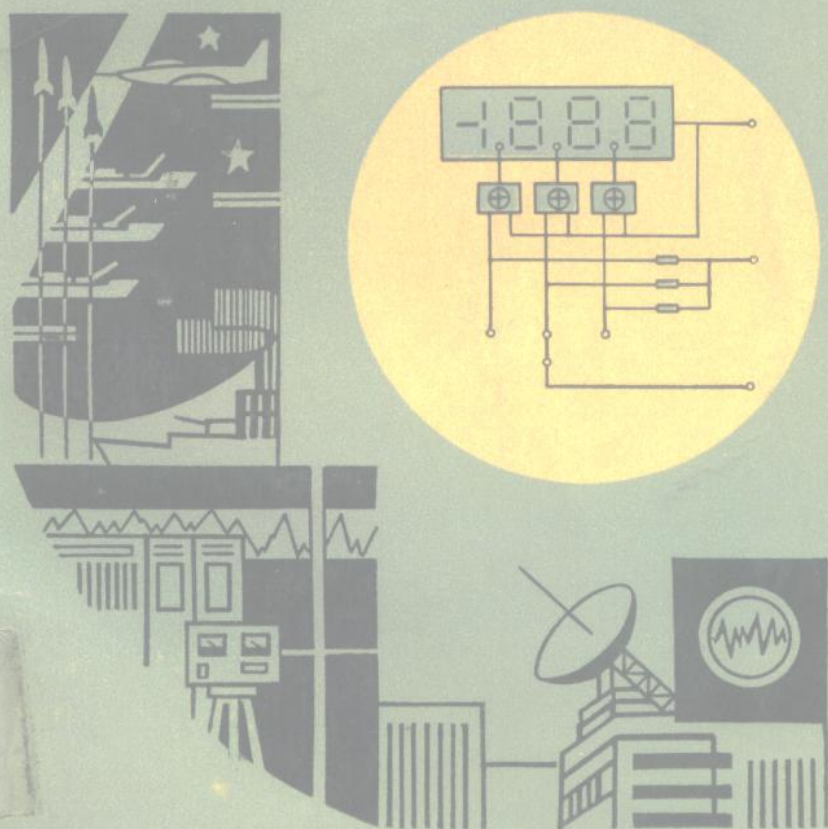


计量中专试用教材

# 数字测量仪表

陈传硕 王新成 编



中国计量出版社

中  
TM932  
版

计量中专试用教材

# 数字测量仪表

陈传硕 王新成 编

中国计量出版社

## 内 容 提 要

本书是计量中专电磁学计量专业的专业课教材。全书共九章,介绍了数字测量仪表的结构原理、电子计数器、A/D与D/A转换器、数字电压表和数字多用表,以及数字电压表的检定与测试方法等,叙述浅显易懂。除作为中专教材外,还可供电学计量方面的职工培训以及具有中等以上文化程度的计量测试人员使用。

计量中专试用教材

数字测量仪表

陈传旗 王新成 编

责任编辑 王晓莹

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 787×1092/16 印张 14 字数 332 千字  
1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷  
印数 1—10 000

ISBN 7-5026-0418-9/TB.334

定价 7.50 元

# 出版前言

国家技术监督局是国务院统一管理和组织协调全国技术监督工作的职能部门。负责管理全国标准化、计量、质量监督工作，并对质量管理进行宏观指导。

随着技术监督事业的迅速发展，当前迫切需要大量的各级、各类计量专门人才，举办各种形式的计量中等教育，对于提高在职计量人员的素质、改善计量队伍的结构，培养一批计量队伍的新生力量，都具有重要意义，并将对计量事业的发展产生深远影响。

近几年来，由于一批计量中专学校的创办，各种形式的计量中等教育如委托或联合办计量中专班、计量函授中专、计量职业高中、计量中专的专业证书培训班，也在各地陆续开展起来，但是缺少教材已成为计量中等教育迫切需要解决的重大问题。因此我们根据国家技术监督局决定，组织编写了一套计量中专教材，其中包括：几何量、热工、力学、电磁学计量四个专业的部分专业基础课和专业课试用教材，争取在1988至1991年内出版齐。

本书是委托吉林省标准计量中等专业学校组织编写的电磁学计量专业的专业课教材。

计量事业教育基础十分薄弱，组织编写行业性教材还是第一次，基本条件和经验都不足，因此，这套教材的编写工作是在时间紧、难度大的情况下进行的，虽然经过多方面努力，但仍然存在很多不足之处，甚至于错误。我们拟在试用过程中听取各方面意见，于适当时机再次组织修改。

另外，这套教材主要是根据三年制全脱产的计量中等专业教育的需要编写的。在目前情况下，要对各种形式的计量中等教育都编出相应的教材难以做到。因此，在编写过程中，也一定程度地考虑了适用的多样性。其他形式的计量中等教育可参考本套教材的基本内容，适当调整使用。

在教材的编写、审议过程中，得到了中国计量出版社、中国计量科学研究院、中国测试技术研究院、中国计量学院、中国计量测试学会，河北、四川、山东、吉林省标准计量局及有关的高等院校、省市计量部门、科研单位、大中型企业的大力支持，在此，谨表示衷心感谢！

国家技术监督局宣传教育司

1988.8

## 编者的话

本书是根据原国家计量局教育处制定的计量中专教材的要求编写的，作为全国计量中专电磁学计量专业的统编教材。

数字测量仪表是电磁学计量专业的一门重要专业课。主要研究数字式电测仪表的原理、技术指标测试及检定方法，是电参数测试以及自动化测量中不可缺少的一部分，也是电学计量人员必须具备的专业知识。

全书共九章，比较详细地介绍了数字测量仪表的结构原理、电子计数器、A/D与D/A转换器、数字电压表和数字多用表；阐述了数字电压表的检定与测试方法；考虑到中等专业学校的特点，本教材力求浅显易懂，着力于阐明物理概念，尽量减少繁难的数学推导；每章后面均有练习题。

本书由黑龙江省标准计量局高级工程师梁福成主审。第一、六、七、九章为长春邮电学院函授部陈传硕编写；第二、三、四、五、八章为吉林省标准计量职工中等专业学校王新成编写。在编写过程中，国家技术监督局宣教司和吉林省标准计量职工中专学校的领导和有关同志给予了极大的关怀和指导，并提供了许多方便。在初稿审定中，长春邮电学院王植槐院长、吉林师范大学袁永昇副教授和梁福成高级工程师等同志提出了许多宝贵的修改意见。在此，表示衷心感谢。

由于我们水平有限，编写时间仓促，难免存在错误和不足之处，恳请读者批评指正。

1989年3月

# 目 录

第一章 概述 .....	( 1 )
第一节 数字仪表的发展和现状 .....	( 1 )
第二节 数字仪表的分类与特点 .....	( 3 )
第三节 数字仪表的结构、主要术语与定义 .....	( 4 )
第四节 数字电压表的基本模拟部件 .....	( 7 )
练习题 .....	( 16 )
第二章 电子计数器 .....	( 17 )
第一节 电子计数器的测量原理 .....	( 17 )
第二节 电子计数器的基本电路 .....	( 24 )
第三节 集成化电子计数器 .....	( 42 )
第四节 电子计数器的测量误差 .....	( 46 )
练习题 .....	( 49 )
第三章 模拟-数字 (A/D) 转换器 .....	( 50 )
第一节 A/D 转换器简介 .....	( 50 )
第二节 比较式 A/D 转换原理 .....	( 51 )
第三节 积分式 A/D 转换器 .....	( 62 )
练习题 .....	( 68 )
第四章 逐次比较式数字电压表 .....	( 69 )
第一节 逐次比较式数字电压表简介 .....	( 69 )
第二节 逐次比较式数字电压表的逻辑控制原理与框图 .....	( 70 )
第三节 PZ-8 型逐次比较式数字电压表电路分析 .....	( 73 )
练习题 .....	( 91 )
第五章 双积分式数字电压表 .....	( 92 )
第一节 双积分式数字电压表的逻辑控制原理 .....	( 92 )
第二节 DS-18 型数字电压表的主要单元电路 .....	( 96 )
练习题 .....	( 116 )
第六章 数字繁用表 .....	( 117 )
第一节 数字繁用表简介 .....	( 117 )
第二节 交直流转换器 .....	( 118 )
第三节 直流电流-直流电压转换器 .....	( 130 )
第四节 直流电阻-直流电压转换器 .....	( 131 )

第五节	通用型数字繁用表 .....	(138)
练习题	.....	(149)
第七章	数字仪表干扰与防护 .....	(151)
第一节	电磁干扰 .....	(151)
第二节	屏蔽原理 .....	(152)
第三节	模-数转换中的串模干扰的抑制原理.....	(154)
第四节	共模干扰及其抑制 .....	(155)
练习题	.....	(158)
第八章	直流数字电压表 (DC-DVM) 的检定与测试 .....	(159)
第一节	DC-DVM 检定概论 .....	(159)
第二节	直流标准仪器法检定 DC-DVM .....	(171)
第三节	比较法检定 DC-DVM .....	(175)
第四节	直流标准电压源法检定 DC-DVM .....	(177)
第五节	高准确度 DC-DVM 的检定.....	(180)
第六节	其它项目的检定和测试 .....	(187)
第七节	检定与测试结果的处理 .....	(197)
练习题	.....	(200)
第九章	智能仪器和自动测试系统简介 .....	(202)
第一节	智能仪器的特点 .....	(202)
第二节	智能数字电压表原理介绍 .....	(203)
第三节	自动测试系统 .....	(207)
练习题	.....	(212)
参考文献	.....	(213)

# 第一章 概 述

## 第一节 数字仪表的发展和现状

随着生产和科学技术的飞速发展，对测量技术提出了新的更高的要求，其中最突出的是测量速度和测量技术的自动化。数字仪表就是为适应这种要求而发展起来的。

由于半导体技术的迅速发展，给测量自动化创造了有利条件。人们把电子技术、数字技术、计算技术运用于电测仪表，从而创造出了在结构、原理上完全不同于原来电工仪表的数字仪表。由于数字仪表具有一系列优点，因此，它具有强大的生命力和广阔的发展前景。

所谓数字仪表，就是将被测的连续量自动地转换成离散量，然后进行数字编码，并将测量结果以数字形式进行显示的电测仪表。

许多物理量是随着时间而连续变化的，这些随时间连续变化的量叫“模拟量”。数字仪表是以数字显示的，而数字却是一种“离散量”（数字量）。因此，必须有一种把模拟量转换为数字量的转换器，一般称为模-数转换器（即A/D转换器）。只有通过A/D转换器才能实现对模拟量的数字化测量。所以，数字仪表也可以理解为A/D转换器加电子计数器，其核心为A/D转换器。

数字电压表（简称DVM）出现于本世纪初，它的出现不仅是电压表发展史上的一件大事，而且也是电子测量技术的一项重大突破。它的出现，一方面是由于电子计算机的应用逐渐推广到系统的自动控制及实验研究的领域，提出了将各种被测量或被控制量转换成数码的要求，即为了实现控制和数据处理的需要；另一方面，也正是由于电子计算机的发展，带动了数字技术的进步，为数字化仪表的出现提供了条件。所以，数字仪表的产生和发展是与电子计算机的发展密切相关的。

数字电压表性能的不断完善，经历了较长的发展过程。

1952年由美国NLS公司所研制的比较型DVM是最早出现于世界的四位数字电压表。它是一种将被测电压转换为时间间隔，并以此时间间隔去驱动脉冲发生器，由计数器读取其脉冲数的类似现代计数式的转换装置，它的特点是直接控制振荡器。这种型式存在着很伤脑筋的问题，即数-模（简称D/A）转换器——它实际上是一个电流求和装置的组成单元，其开关电路、逻辑电路、放大器等等都采用了电子管，这样，就必须对灯丝电源的变化所引起的漂移进行补偿。然而，当时作为完全新型的高准确度仪表，已把它作为A/D转换器广泛地用在数据处理中。

随着A/D转换器的广泛应用，电位差计的自动化问题提到了日程上来。于是，作为自



动化的措施，逻辑电路采用了电话机用的继电器。若将变换速度置于次要位置，那么在晶体管还未普及的当时，这种逻辑电路用起来确实是很方便的。具有这种逻辑电路的逐次比较型DVM的性能已实现了四位显示，准确度为0.05%，测量周期为5s，极性和量程转换均已自动化。

随着电子技术的发展，1958年在美国又出现了使用步进开关的跟从比较式数字电压表。这种型式的优点是能直接取得十进位数，不需显示电路和打印输出用的编码变换器，电路结构简单，其缺点为步进开关的旋转速度最大不过是每个阶跃30ms，响应迟缓，需1—3s的测量时间，驱动功率大，寿命不长。1964年，随着电路的晶体管化和小型化，这种步进开关式被淘汰了。

1960年开始出现了采用干簧继电器或水银继电器的比较式DVM，它的出现进一步提高了DVM的准确度和测量速度。就是说，测量时间缩短为0.1—0.5s，较之步进开关式提高将近10倍，满量程也出现了五位(99999)。这种比较式(逐次比较与跟从比较)分辨率达到了100 $\mu$ V，极性显示和量程转换也全部自动化。干簧继电器与电磁继电器相比其触点只有一组，所以寿命长且稳定；水银继电器的寿命和稳定性就更优越些。但水银继电器的比较式DVM成本高，同时存在结构上要求不能有30°倾斜的缺陷。

70年代初，随着半导体集成化程度的不断提高，数字仪表又进入了一个新阶段。高集成度的小型化数字仪表，不仅准确可靠，而且价格低廉。同时其功能已扩展到几乎一切测量领域，如测量长度、重量、流量、温度、振动、压力、冲击、扭矩、磁场、速度与照度等等。

近几年来，数字化测量技术的一个新的发展方向是数字化测量系统。以前的多路巡回检测装置，可对上千个点的参数进行自动测量、显示、报警、存贮及打印。随着计算机应用的发展，在大型科学实验装置中，已普遍采用按一定的程序控制测量过程，并对测量结果进行数据处理的计算机系统。

随着微处理机的出现，使数字仪表又有新的更加广阔的前景，其功能又有根本性的变化。使许多原来用硬件逻辑难以解决或根本无法解决的问题用软件就能迎刃而解。如传统的数字多用表(DMM)只能测量交流与直流电压、电流及电阻，而引入微处理机后就可测量诸如百分率偏离、偏移、比例、最大/最小、极限、统计(平方值、方差、均方差、均方根值)等多种电参数；再如传统的数字频率计能测量频率、周期、时间间隔等参数，但带微处理器和A/D转换器的通用计数器还能测量电压、相位、上升时间、空度系数、漂移及比率等多种电参数。

微处理机除了增强仪器功能外，还提高了仪器的如下性能指标：

1. 程控操作。装有微处理机的所谓智能仪器可以根据操作人员通过功能按键送来的指令，按预先存贮的操作程序自动完成测量工作。
2. 自校准。可根据机内或机外的基准，随时进行自校并记忆仪器的系统误差，然后在测量阶段自动从测量结果扣除系统误差。
3. 自诊断故障。智能仪器可以利用微处理机的逻辑功能自动诊断故障所在的部位，给出必要的显示，从而缩短维修时间。
4. 计算与处理。智能仪器还可以对测量数据进行运算和处理，如通过多次自动测量同一参数，取其平均值作为测量结果，从而减少随机误差带来的影响，提高了测量准确度。

5. 接口方便。智能仪器可利用微处理机的重编数据格式的能力，以较多的软件和较少的硬件来提高与其它仪器的接口性能。

6. “硬件软化”。使许多硬件逻辑都可用软件取代。数字电压表中大量的计数器、寄存器、译码显示器及复杂的控制电路，只要速度跟得上，都可用软件取代。

## 第二节 数字仪表的分类与特点

随着工农业生产和科学技术发展的需要，各种类型的数字仪表不断出现，分类方法也名目繁多，但较为普遍的是采用按所测量的参数和工作原理进行分类，如图 1.1 所示。

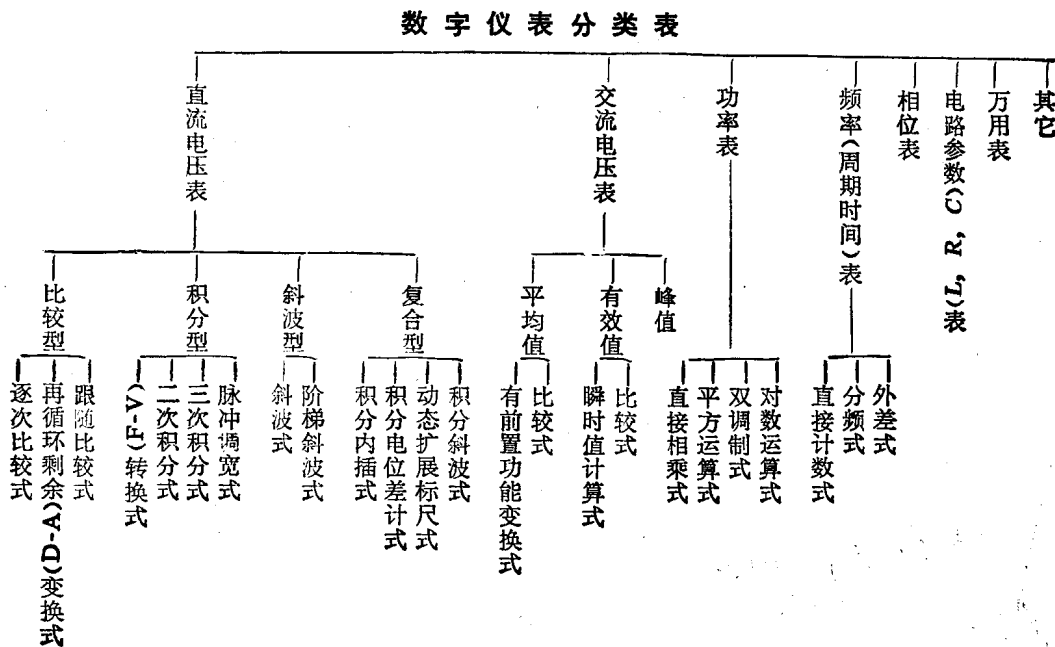


图 1.1 数字仪表的分类

除此之外，还有下面几种分类方法：按准确度分，有高精度型和普及型；按显示位数分，有三位、四位、五位等；按测量速度分，有低速（每次几秒至每秒几次）、中速（每秒几次至几百次）、高速（每秒几百次至几万次）和超高速（每秒几万次）等；按体积分，有台式、便携式和袖珍式。

数字仪表与模拟式仪表相比，具有以下特点：

1. 读数清晰直观。数字仪表不仅用数字的形式直接显示被测量的数值，而且相应的符号、单位、极性、小数点等也能显示出来；它能消除指针式仪器存在的视差；可以几个人同时进行现场观测；随着发光二极管和液晶显示器的应用，功耗进一步下降，读数视角也更宽阔，色彩更为柔和，减少了测量者因长时间观察而引起的疲劳。

2. 测量速度快。数字仪表很容易与其它仪表组成一个完整的测试网络，其测量速度可通过采样时间灵活控制，可由每秒 0.1 次到每秒几万次，还可进行人工控制、单次采样和手

工操作，这样就给自动化测量提供了条件。

3. 测量准确度高。数字仪表比模拟仪表的测量准确度高很多倍，有的甚至提高几个数量级。这是因为数字显示器件对测量准确度的限制，频率（或时间）的数字测量准确度高，以及数字信号不容易受噪声和外界干扰的影响。

一般直流数字电压表的准确度很容易达到 $\pm 0.001\%$ ，甚至更高；而指针式仪表只能读出二位，估读一位，即最高准确度为 $0.1\%$ 。

4. 测量范围宽，灵敏度高。目前灵敏度高的数字电压表的测量下限可达到 $0.1\mu\text{V}$ 或 $10\text{nV}$ ，一般的数字电压表也均能达到 $10\mu\text{V}$ 或 $1\mu\text{V}$ 。而测量上限可高达 $1500\text{V}$ 。几乎覆盖了直流电位计、分压箱和电表的所有量限范围。

5. 输入阻抗高。由于数字仪表利用了电子反馈技术，所以输入阻抗可高达几兆欧〔姆〕( $\text{M}\Omega$ )到几百兆欧〔姆〕( $\text{M}\Omega$ )，甚至达到 $1000\text{M}\Omega$ 以上。而指针式仪表的输入阻抗仅在几千欧〔姆〕( $\text{k}\Omega$ )到几兆欧〔姆〕( $\text{M}\Omega$ )之间。

6. 使用方便，自动化程度高。使用数字仪表只需将仪器开机预热、预调之后就可使用。操作十分简便。由于数字仪表具有编码信息输出，所以其测量结果可以送入存储器长期保存，可以配接打印机、记录仪等进行自动计数，也可带自动化设备进行自动控制和遥控测量。配上相应的转换器后还可以进行各种电参量和非电量的数字化测量。更重要的是数字仪表很容易与电子计算机结合组成测试系统，进行程控、数据采集、数据处理、逻辑运算等。

数字仪表的缺点是它的电路复杂，使用大量的元器件，造价高。

### 第三节 数字仪表的结构、主要术语与定义

#### 一、数字仪表的结构

各种类型的数字仪表大致都由A/D转换器和电子计数器组成。其结构框图见图1.2。

各种被测量一般首先通过换能器和转换器转换成电压，然后由电压-频率变换器（即V-F变换器）转换成相应的频率量 $f$ ，再由计数器在单位时间内测定周波数而获得频率的量

值，最后存贮所得周波数，经译码后显示为相当于被测量的数字值。此外，也可将直流电压转换成相应的时间间隔 $T$ ，然后再经过一次时间间隔-电脉冲数码的转换，而进入存储器，最后被译码、显示。还有一类则是将一个可编码

的可变直流电压与被测直流电压相比较，其过程和用直流电位差计测量直流电压相似，在最终平衡时获得代表可变直流电压的编码量，经译码后显示出来。现有的各种直流数字电压表的原理大体都可归纳为以上三类。

有一些物理量可直接变成相应频率，如弦式张力计、涡轮流量计等，它们的输出频率可直接由频率计测定而读数。

还有一类物理量可直接转换成相应的脉冲数，如激光干涉仪，它们的输出脉冲数可直接由频率计读数。

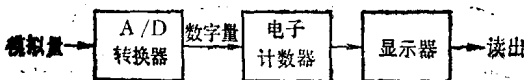


图1.2 把模拟量变成数字量进行测量的过程

至于时间量，其中包括频率和相位，更是容易实现数字化测量。图 1.3 是数字化测量仪表的通用结构图。

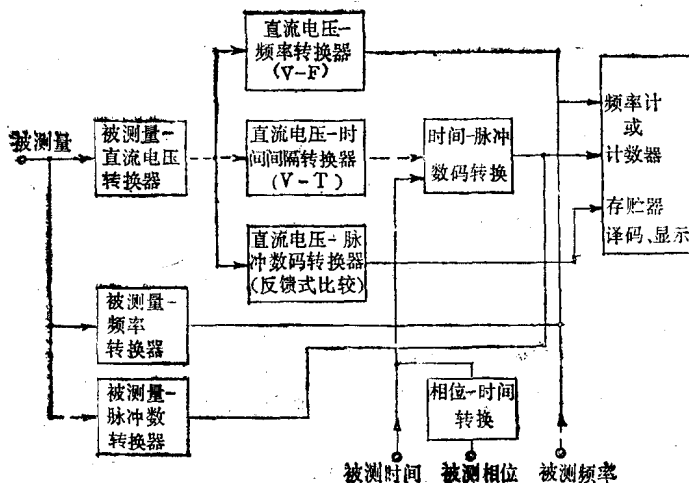


图 1.3 数字化测量仪表的通用结构框图

各种不同的数字式仪表，虽然它们的内部结构和工作原理各异，但从总体来说，都包含以下一些主要部件：衰减器、切换开关、前置放大器、基准电源、A/D 或 D/A 转换器、钟频发生器、计数、译码、显示器以及逻辑控制电路等。它们之间的关系见图 1.4。

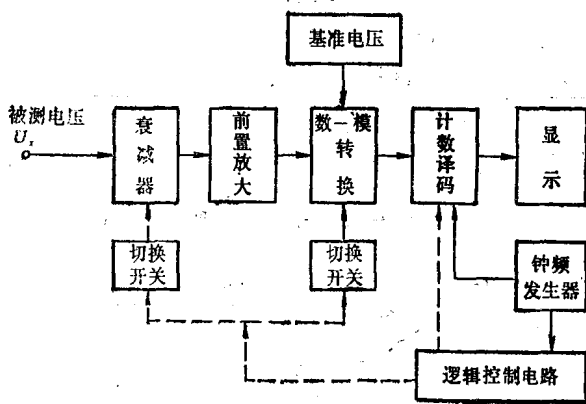


图 1.4 数字电压表简单框图

## 二、主要术语与定义

图 1.4 是典型数字仪表——数字电压表的简单框图，因为数字电压表是具有代表性的数字仪表，下面将详细介绍其主要术语与定义，其它数字仪表的术语大同小异，就不一一列举了。

1. 测量范围——系指电压表所能达到的被测量的范围。能满足误差极限的那部分测量范围称有效测量范围。为了扩大电压测量范围，一般的数字电压表都设几个量程，这些不同量程的设置通常是借用分压器和输入放大器来实现的，量程的选择可为手动、自动和运动等方式。

2. 分辨力（灵敏度）——表示电压表所能够显示出的被测电压的最小变化值，也就是数字电压表显示器末位一个数字所代表的输入电压值。显然，不同量程的分辨力是不同的，相应于最低量程的分辨力称为该数字电压表的最高分辨力，也叫灵敏度。通常以最高分辨力作为数字电压表的分辨力指标。如某表的最小量程是0—0.6000V，五位数字显示，末位一个字的等效电压为10μV，便可说该表的分辨力为10μV。

3. 基本量程——为在多量程的DVM中测量误差最小的量程，一般是不加量程衰减器及量程放大器的量程。

4. 满度值——为各量程有效测量范围上限值的绝对值。

5. 标准条件——为了检定和校准试验，对影响量（必要时对影响特性）所规定的一组有允许偏差的数值或范围。

6. 额定工作条件——是影响量的额定工作范围和仪表各性能特性的有效范围的总和。在此条件下，应保证DVM的工作误差符合要求。

7. 基本误差——DVM处在标准条件下，经预热、预调和校准之后，仪器本身所固有的24h的误差。

其表达式可用下列形式之一表示：

(1) 用两项误差之和所表示的绝对误差为

$$\Delta = \pm (\alpha\% U_x + \beta\% U_m)$$

式中  $U_x$ ——被检表的读数值（显示值）（V）；

$U_m$ ——被检表的满刻度值（V）；

$\alpha$ ——与读数值有关的误差系数；

$\beta$ ——与满刻度值有关的误差系数。

(2) 用与DVM读数值之比的相对误差为

$$\gamma = \pm \left( \alpha\% + \beta\% \frac{U_m}{U_x} \right)$$

8. 附加误差——当影响量中的一个量（如温度、湿度、电源频率和电压等）偏离标准条件下的值（或范围）时所引起的仪表误差。

9. 工作误差——在额定条件下DVM所具有的误差极限。

10. 线性误差——表征DVM的测量电压是否均匀地反映被测电压的特征称为线性度，其实际变换曲线对理想直线的偏差称为线性误差。

11. 稳定误差——指在规定时间内其它条件保持不变，DVM在某一校准点显示值的最大变化量。稳定误差包括波动和漂移两种变动量。根据不同的时间间隔，又有短期稳定误差（如7h、24h）和长期稳定误差（一个月、三个月、半年、一年）之分。

12. 输入电阻——对于DVM来说，一般是指工作状态下从输入端看进去的输入电路的等效电阻。由于数字电压表在测量时需将被测电压经电子线路进行放大和转换，它们对输入端的被测信号的影响可以等效为如图1.5的电路。

这一电路由输入电阻  $R_i$  和零电流  $I_0$  并联表示,  $R_i$  为电压表的等效输入电阻, 用输入电压变化量和相应的输入电流变化量之比来表示。

13. 零电流——又称输入偏置电流, 是由仪器内部引起的在输入电路中流入或流出的电流。零电流  $I_0$  与输入信号的大小无关, 而决定于仪器的电路。使用中  $I_0$  的影响是不容忽视的。若被测信号源的开路电压为  $U_x$ , 内阻为  $r_x$ , 当被测信号源加在数字电压表输入端 AB 时,  $U_{AB} \neq U_x$ , 设  $R_i$  很大, 且  $R_i \gg r_x$ , 则  $U_{AB} = U_x + I_0 r_x$ , 即使  $U_x = 0$ , 数字电压表的读数也不是零而是  $U_{AB} = I_0 r_x$ 。显然,  $r_x$  不同,  $I_0 r_x$  的影响也不同, 它不能用电压表调零的方法一劳永逸地补偿掉, 而成了测量误差中的一部分。因此, 数字电压表要求输入电阻  $R_i$  尽量大, 而零电流要尽量小。

14. 测量速度——在单位时间内, 以规定的准确度完成的最大测量次数, 也就是仪表每秒钟给出显示的次数。它主要取决于 DVM 所采用的 A/D 转换器的转换速率。

15. 响应时间——从输入电压发生阶跃变化的瞬间到满足准确度的新的稳定显示值之间的时间间隔。

响应时间又分为以下三种:

(1) 阶跃响应时间: 在某量程上, 在无极性变化时, 由输入量以规定的幅度阶跃变化所引起的响应时间。

(2) 极性响应时间: 由输入量以规定的幅度跃变使输出极性变化引起的响应时间。

(3) 量程响应时间: 在无极性变化时, 由输入量以规定的幅度跃变引起转换到相邻量程的响应时间。

16. 抗干扰特性——数字电压表的测量准确度和分辨力是在排除内外干扰的条件下提出的。而在实际测量时总不免要受到来自仪器内部的如器件的漂移和噪声, 以及来自外部的电磁感应和电源的影响等不同程度的干扰。因此, 就要求仪器本身具有一定的对于干扰信号的抑制能力。

根据干扰信号加入的方式不同, 可把干扰分为串模干扰和共模干扰两类。并以串模干扰抑制比 (SMRR) 和共模干扰抑制比 (CMRR) 来表示。有关这两个参数的分析计算, 在后面的章节中有详细的介绍。

关于数字仪表的术语和定义, 还有其它方面一些内容, 限于篇幅这里从略。

## 第四节 数字电压表的基本模拟部件

### 一、精密电阻器

精密电阻器常指其电阻值的准确度优于 0.1% 的电阻器。在数字电压表中, 精密电阻器是重要元件之一, 它可用在输入电路中做衰减分压电阻, 在输入放大器中用来做反馈电阻,

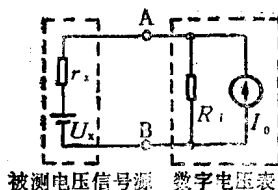


图 1.5 零电流的影响示意图

在数-模转换器中用来做权电阻等。一般地说，精密电阻器不能工作在高电压和大电流状态下，这样，当它在小功率工作时便可以不用考虑电阻器本身的自热问题了。因此，对于精密电阻器来讲，涉及自身功率的一些技术参数便不是主要的，而着重点是电阻值的准确度和稳定性。

数字电压表中使用的精密电阻器，有的场合要对单个电阻器的阻值提出很高的要求，而在多数应用中要求几个电阻器的阻值之比准确，对单个电阻器的阻值要求并不严格。实际上，保持电阻比值的准确和稳定要比保持单个电阻值的准确和稳定容易办到，所以，数字电压表中有时把多个电阻器封装在一起，组成电阻网络来使用。

### (一) 精密电阻器的主要参数

1. 起始公差值：指刚出厂时的电阻值与电阻器标称值之间的误差大小。

2. 负载老化公差值：在规定温度下，负荷额定功率，工作 1 000 h 后，相对于标称值的变化。

3. 温度系数：温度变化  $1^{\circ}\text{C}$  时电阻值的相对变化，单位为  $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，常以 TCR 表示。

4. 最高温度变化值：在给定温度范围内电阻值偏离标称值的大小。因为 TCR 值是温度的非线性函数，所以，最高温度变化值不能简单地用 TCR 值乘以温度范围来计算。

5. 总变化值：电阻器在一年（或三年）内受到各种环境变化（温度、湿度等）的综合影响后阻值偏离标称值的相对值。

6. 电压系数：电阻器上当电压变化一个小量值而其余条件不变时，电阻值偏离标称值的大小，单位为  $10^{-6}/\text{V}$ ，常以 VCR 表示。

### (二) 常用的精密电阻器

1. 精密线绕电阻器：是用经过特别加工的，由温度系数很小而对铜的热电势较低的电阻丝绕在陶瓷或塑料等绝缘骨架上制成的；电阻丝在骨架上可绕制一层，也可绕制多层或采用无感绕法，绕后还必须经过特殊处理以提高电阻器的稳定性，为免受外界因素的影响，通常用玻璃、陶瓷管封闭，或用环氧树脂及其他塑料包封；小型精密线绕电阻器的准确度可达  $1\%—0.01\%$ ，功率为  $0.125—2\text{ W}$ ，阻值可从  $0.1—6 \times 10^6 \Omega$ ，温度系数一般为  $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，特殊要求时可达  $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

2. 精密金属膜电阻：是以特殊金属或合金作为电阻材料，用真空蒸发或溅射的方法在陶瓷或玻璃基体上形成电阻膜层的电阻器。它不仅可以通过控制它的材料成分和膜层厚度来调整其阻值，还可以通过刻槽来调整阻值，因而可以制成性能良好，阻值范围较宽的电阻器。精密金属电阻器所用的材料为特殊合金，工艺方法与一般金属膜电阻器相同外，通常还要增加基体高温锻烧，直流老炼和二次刻槽等工序；结构方面通常把电阻体密封在陶瓷或金属外壳内，有时在壳体内还要抽气或充以惰性气体。它的特点是准确度高、温度系数小、稳定性性能好，其准确度可达  $(\pm 0.5—\pm 0.01)\%$ ，功率为  $0.125—0.5\text{ W}$ ，其体积比相同功率的电阻器小。

目前我国精密电阻器的生产虽然有了很大发展，但无论在品种或质量上都还难以满足数字电压表的需求，特别是缺乏精密电阻网络，因此，在目前的数字电压表生产中，还只能以分立电阻器组成电阻网络。

## 二、电 容 器

数字电压表中的电容器多数是用在要求并不严格的滤波电路或耦合电路中。但是，用于转换电路中的某些电容器起着特别重要的作用，因而对它们的要求也就苛刻得多。如用在采样-保持电路时，就要求电容器能在很短的时间内接收一定的电荷，并在较长的时间内保持住而又不致泄漏掉；在模-数转换电路中所用的积分器需要用电容器以预定的速率充放电；在某些模-数转换电路中还需要从一个电容器向另一个电容器反复地传送电荷，这时就要求两个电容器有准确的电容量之比。

### (一) 电容器的主要参数

电容器的参数有很多，除了电容量、介电常数、损耗因数、绝缘电阻等外，尚要了解以下几个参数：

1. 电容温度系数：指在一定温度范围内，温度每变化一度引起电容量的相对变化值。如电容量与温度的关系呈线性，则电容温度系数  $\alpha_c$  为：

$$\alpha_c = \frac{C_t - C_0}{C_0} \times \frac{1}{t - t_0}$$

式中， $C_0$  为室温  $t_0$  时的电容量； $C_t$  为温度  $t$ （最高或最低工作温度）时的电容量。 $\alpha_c$  一般很小，常用  $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  表示。如果电容量与温度的关系是非线性的，则上式所表达的将是电容温度系数的平均值。

2. 温度系数匹配值：当两个或两个以上的电容器作成网络使用时（如电容分压器等），电容器之间的温度系数匹配比温度系数本身还要重要。温度系数匹配值被定义为两个或两个以上的电容器其电容温度系数适应温度变化时的相近程度，其单位为  $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

3. 电压系数：定义为外加电压变化 1 V 时，电容量的变化的相对量，单位为  $10^{-6}/\text{V}$ 。

### (二) 常用电容器的种类

1. 塑料薄膜电容器：目前的优质电容器大都使用塑料薄膜作为绝缘材料以提高介电常数。常用的塑料绝缘材料包括多种有机合成的介质材料，如聚乙烯、聚苯乙烯、聚四氟乙烯、聚丙烯等非极性介质材料，以及聚对苯二甲酸乙二酯、聚碳酸酯等极性介质材料，它们的性能普遍比纸介质好。例如，聚苯乙烯电容器的电性能优良、绝缘电阻高、介质损耗低、介质吸收效应小、电参数随温度和频率的变化均很小，其电容量温度系数  $\alpha_c = 1 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ ，而且电容量的精度高（可达  $\pm 0.05\%$ ），但其耐热性差，工作温度上限为  $+70$ — $+75^{\circ}\text{C}$ ，是目前被广泛采用的一种电容器；又如聚四氟乙烯电容器除具有电性能优异、损耗小、绝缘电阻高、电参数温度特性和频率特性稳定，以及耐化学腐蚀、吸水性低之外，尤为突出的优点是耐热性好，工作温度上限可达  $250^{\circ}\text{C}$ ，但成本较高。

2. 陶瓷电容器：虽然普通的陶瓷电容器有许多可贵的性能，如耐压高，高频响应好，但不能用于数字电压表的 A/D 转换和 D/A 转换器中，因为它的电容量随温度和电压的变化太大。

3. 玻璃电容器和玻璃釉电容器：采用优选配方和工艺可以获得性能近于理想介质的玻璃电容器，其介电常数高，损耗小，绝缘电阻高，而且电容量温度系数低，工作范围可从  $-55^{\circ}\text{C}$  到  $+200^{\circ}\text{C}$ 。



### 三、模拟开关

在数字电压表中，高速度、高准确度地切换模拟信号是一个非常重要的问题。被模拟开关切换的模拟信号可能是电压，也可能是电流。模拟开关的通和断的动作要受驱动信号的控制，而驱动信号一般为数字信号。作为一个开关，希望它在电路中能起到“通”和“断”的作用，而且也仅仅起“通”和“断”的作用，对于被切换的电压或电流信号不应有任何影响。

对模拟开关的基本要求：开关闭合时，导通电阻 ( $R_{on}$ ) 要小，理想情况下  $R_{on} = 0$ ，而且残余电压也要小(理想情况为 0)；开关断开时，开关的绝缘电阻 ( $R_{off}$ ) 要大，理想情况下  $R_{off} \rightarrow \infty$ ，而且残余电流要小(理想情况为 0)；切换的响应时间要短，即能进行高速切换；而且切换要稳定、可靠、无噪声；开关的动作易于控制，驱动电路与被切换的模拟信号电路之间不能互相干扰；寿命长。

下面介绍几种数字电压表中常用的模拟开关的工作原理和特点。

#### (一) 电磁继电器

1. 干簧继电器：其结构如图 1.6 所示，主要元件为玻璃管密封的触点，玻璃管内有两片高导磁率和低矫顽磁力的坡莫合金做成的簧片，两个簧片的末端有镀金的触点，在玻璃管内充有保护性气体以防触点氧化腐蚀，簧片通过引线与玻璃管外的电路相连，簧片除作为导电接点外，同时它也是一个导磁体。当驱动线圈中通过一定的控制电流时，会产生沿玻璃管轴向的磁场，簧片被纵向磁化而互相吸合，于是开关闭合；当驱动线圈中的电流消失时，玻璃管的磁场消失，借助簧片本身的弹力，触点释放，开关断开，这就是常见的干簧继电器的结构和工作原理。

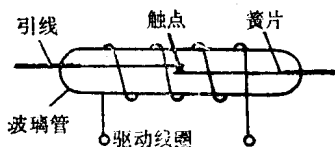


图 1.6 干簧继电器结构示意图

簧片通过引线与玻璃管外的电路相连，簧片除作为导电接点外，同时它也是一个导磁体。当驱动线圈中通过一定的控制电流时，会产生沿玻璃管轴向的磁场，簧片被纵向磁化而互相吸合，于是开关闭合；当驱动线圈中的电流消失时，玻璃管的磁场消失，借助簧片本身的弹力，触点释放，开关断开，这就是常见的干簧继电器的结构和工作原理。

玻璃管的磁场消失，借助簧片本身的弹力，触点释放，开关断开，这就是常见的干簧继电器的结构和工作原理。

干簧继电器的特性：(1) 由于干簧继电器的触点密封在充有保护性气体的玻璃管内，从而防止了由于氧化或灰尘等因素引起的触点接触不良；(2) 由于簧片的质量小(即惯量小)，响应时间短，因而工作频率可达到每秒 10—40 次，最多可达每秒 700 次，且启动和释放所用的时间短；(3) 触点镀金，因而接触电势小，噪声低，尤其适用于小信号切换；(4) 簧片的刚性强，触点位移小，结构密封，因而寿命长；(5) 开关的断开漏电阻很大 ( $\geq 1000 M\Omega$ )，而闭合导通电阻很小 ( $\leq 50 M\Omega$ )，开态和关态性能很好；(6) 它的工作位置及方向可任意安装，且能在温度和湿度变化较大的条件下正常工作，此外，驱动电路与被切换的模拟信号电路之间无电的耦合而互相隔离。鉴于上述优点，所以干簧继电器被广泛应用。但它还存在负载功率不够大的缺陷，如负载电流显著增大或接入感性负载时，触点便不能正常工作。

2. 机械斩波器：也称为机械振动子，常用在调制放大器中作为机械调制器和解调器。在采样-保持电路和同步控制电路中也常用作开关。其基本结构如图 1.7 所示。a 图是一个由交流电压驱动的单刀双掷开关，b 图是其示意图。图中  $U_i$  为交流电压，在驱动电压控制