

常用电子仪器丛书

数字电压表

陈中洪 编



水利电力出版社

33.22

常用电子仪器丛书
数 字 电 压 表
陈中洪 编

*

水利电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号)

各地新华书店经售
北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 6印张 130千字 3插页

1989年5月第一版 1989年5月北京第一次印刷

印数0001—4260册 定价3.75元

ISBN 7-120-00578-2/TM·151

内 容 提 要

本书是《常用电子仪器丛书》中之一册。

书中主要介绍数字电压表的工作原理、电路分析、使用方法、故障维修和校验方法。

本书可供电力、电子部门从事电测、计量、检修等专业人员阅读，也可供有关专业的师生参考。

前 言

《常用电子仪器丛书》是一套系统介绍我国目前大量生产和广泛应用的电子仪器原理、电路、使用、维修和校验方面的普及性丛书。它以广大电子技术工人为主要读者对象,也可供其他一般电子仪器工作人员参考。本丛书在篇幅上,着重介绍仪器的原理和电路,以便读者能融会贯通,举一反三;在仪器的选型上,尽量做到既考虑仪器的先进性,又考虑到应用的广泛性;在内容上,以论述物理概念为主。

本丛书共分九册。其中,《电子仪器基础》、《模拟式电子电压表》和《电子仪器的干扰及其抑制》由张国屏编写;《交直流稳压电源》由朱康中等编写;《低频信号发生器》由刘庆雄等编写;《电子管、晶体管参数测试仪》由蔡光显编写;《电子示波器》由叶胜泉编写;《数字频率计》由吴静凡等编写;《数字电压表》由陈中洪编写。张国屏担任本丛书主编;郭永坤、刘庆雄担任副主编。

本丛书在编写过程中,得到了水利电力部南京自动化研究所丁功华、山西省电力试验研究所芦士鹤、东北电业管理局技术改进局阎占元、四川省电力试验研究所电子组的大力支持和协助。初稿完成后,由北京电力科学研究所许遐进行了审阅修改。在此一并表示由衷的感谢。

由于编者水平有限,书中缺点、错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1987年6月

目 录

前言

绪论	1
第一章 数字电压表的基本原理	5
第一节 介绍几种数字电压表的原理	5
第二节 逐次逼近比较式数字电压表	11
第二章 数字电压表电路	27
第一节 PZ8型直流数字电压表	27
第二节 PZ12a双积分式数字电压表	66
第三章 数字电压表的使用	93
第一节 数字电压表使用方法	93
第二节 几项特殊使用方法与原理	97
第三节 数字电压表的主要应用	112
第四章 数字电压表的维修	124
第一节 数字电压表的维护	125
第二节 数字电压表的修理	128
第三节 数字电压表常见故障检修流程图	135
第五章 数字电压表的校验	142
第一节 数字电压表的几种校验方法	142
第二节 标准设备及其主要技术性能简介	156
附录	177

绪 论

数字电压表 (DVM) 以它独有的特点——直接以精确的数字量来显示被测电压的量值, 从而实现对传统的电压、电流等参量的精密测量。同时, 它还可作为一个终端环节, 通过前级各种传感器, 实现对非电量进行精确的数字显示。

这样, 它就不仅能以简捷的手段、较快的速度获得精密测量数据, 而且它又开拓了一条通往自动化、电子计算机等新技术的捷径, 为实现精密数据处理开辟了新的途径。因此, 数字电压表的日益发展和普遍采用, 不仅是模拟量—数字量转换新技术的开发, 而且还显明的标志着我国电气、电子测量事业上升到了一个新的高度。

一、数字电压表的发展概况

数字电压表出现在50年代初。这种仪表之所以出现, 一方面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, 提出了将各种被观察量或被控制量转换成数码的要求, 即为了实时控制及数据处理的需要; 另一方面, 也正是电子计算机的发展, 带动了脉冲数字电路技术的进步, 为数字化仪表的出现提供了条件。所以, 数字化测量仪表的产生与发展, 是和电子计算机的发展密切相关的; 同时, 为革新电工测量中的烦琐和陈旧方式也催促了它的飞速发展; 如今, 它又成为向智能化仪表发展的必要桥梁。

数字电压表最初的制作品是伺服步进电子管比较式, 其优点是准确度比较高, 但是采样速度慢、重量重达几十公斤、体积大。继之, 出现了斜波式 (电压——时间式) 的,

它在速度方面稍有提高，可是准确度低、稳定性差。以后，将比较式仪表改进成逐次渐近式结构，它不仅保持了比较式准确度高的优点，而且速度也有了很大提高，它的最大缺点是抗干扰能力差。随后，在斜波式的基础上又引伸出阶梯波式，它唯一的进步是成本降低了，可是准确度、速度以及抗干扰能力都未提高。数字电压表发展到现在，有如下几种形式：电压—频率变换式；双斜率(双积分)式；脉冲宽度调制式；二次采样积分电位差计式等。在这二、三十年时间里，发展速度更快，就原理上讲，它从原来的一、二种已发展到多种；在功能上，则从测单一参数发展到能测多种参数；从所用制作元件来看，亦经历了电子管、晶体管分列元件，发展到集成电路，甚至大规模集成电路；准确度从 10^{-3} 数量级，一举提高到 10^{-6} 数量级等。目前，DVM各项主要技术指标所能达到的最高水平大致为：直流电压测量准确度为 1×10^{-6} ，可保证一年不变；分辨力高达1 nV；读数速度为每秒34000次；共态抑制比为160dB；显示位数最多为 $7\frac{1}{2}$ 位

(8位)；价格最低的只有185元左右。此外，手表式数字电压表开始上市，重量最轻仅80g，平均故障间隔时间已达10万h；在交流高频数字电压表方面，目前实现数字化的方法仍然是用交流—直流转换(AC/DC)，即先将交流转换成直流后，再用模—数(A/D)转换，实现电压的数字化测量。转换方案有整流法、热电转换法、平方律法和乘法器运算法等数种。转换器件一般采用二极管、热电偶和热变电阻等。由于它们都是非线性器件，转换灵敏度低、频响特性不理想、准确度低，目前这方面的水平大致为：当频率低于100kHz时，准确度为千分之几到万分之几。当频率高于100

kHz时，准确度为百分之几~千分之几。因此，可以这样说，目前在高频数字电压表中，对新型的交流——直流转换技术的科研试制还处于摸索阶段，故在高频交流电压测量方面，模拟式电压表还占有相当重要的地位。

应用微处理器的智能化电压表初始于1975年，后来数量不断增多。现在智能化功能大致为：①程控操作；②自动校准；③自诊断故障；④数据变换；⑤指示判断和自动分选等。

二、数字电压表的分类

数字电压表种类繁多、型号新异，目前国际国内尚未有统一的分类法则。常用的有以下几种分类方法。

(1) 按用途分：有直流数字电压表；交、直流两用数字电压表；交直流电压、电流及电阻的数字万用表(DMM)等。

(2) 按显示位数分：有4位、5位、6位、7位，最高8位等。实际上，由于受A/D转换的限制，最高位显示为19……，故一般又称 $3\frac{1}{2}$ 位~ $7\frac{1}{2}$ 位等。

(3) 按准确度分：可分为低准确度($\pm 0.1\%$ 以下)；中准确度($\pm 0.1\% \sim \pm 0.01\%$)；高准确度($\pm 0.01\% \sim \pm 0.0002\%$)等。

(4) 按测量速度分：有低速(每秒几次至几秒一次)；中速(每秒几次到几百次)；高速、超高速等。

但通常DVM多数还是按原理的不同进行分类，目前大致分为以下几类：

(1) 比较式 { ①逐次逼近比较式；
②跟踪比较式；
③余数再循环比较式。

(2) 电压—时间变换式(V/T) $\left\{ \begin{array}{l} (1) \text{斜波式(锯齿波式)}; \\ (2) \text{阶梯波式}。 \end{array} \right.$

(3) 积分式 $\left\{ \begin{array}{l} ① \text{电压—频率变换式} (V/F); \\ ② \text{双斜式(双积分式)}; \\ ③ \text{脉冲宽度调制式}; \\ ④ \text{三斜率式、四斜率式等}。 \end{array} \right.$

其次还有复合式、特殊型式等。

第一章 数字电压表的基本原理

第一节 介绍几种数字电压表的原理

一、比较式数字电压表

(一) 原理

比较式数字电压表的基本工作原理，是用被测电压和一可变的已知电压（基准电压）进行比较，直至实现平衡，测出被测电压。其中，连续比较式是用被测电压同基准电压进行比较，如比较的结果不平衡，基准电压则连续改变，直至平衡为止。而逐次逼近比较式，是将基准电压分成若干基准码，每位按二—十进制编码组合，未知电压按指令先与最大的一个码比较，逐次渐小。比较时，大者弃，小者留，直至近于平衡。这种型式的DVM的原理方框图，如图1-1所示。

(二) 特点

(1) 不需要计数机构，测量速度快；

(2) 准确度主要取决于标准电阻或电感以及基准源的准确度，因而准确度较高；

(3) 因其测量值不是平均值，而是瞬时值，所以抑制常态干扰（串态干扰）能力差。如若增加输入滤波器，可提高抗干扰能力，但是，由于RC时间常数增加，又要降低测量速度。

二、电压—时间（V/T）变换式数字电压表

(一) 原理

电压—时间（V/T）变换式DVM的工作原理方框图，

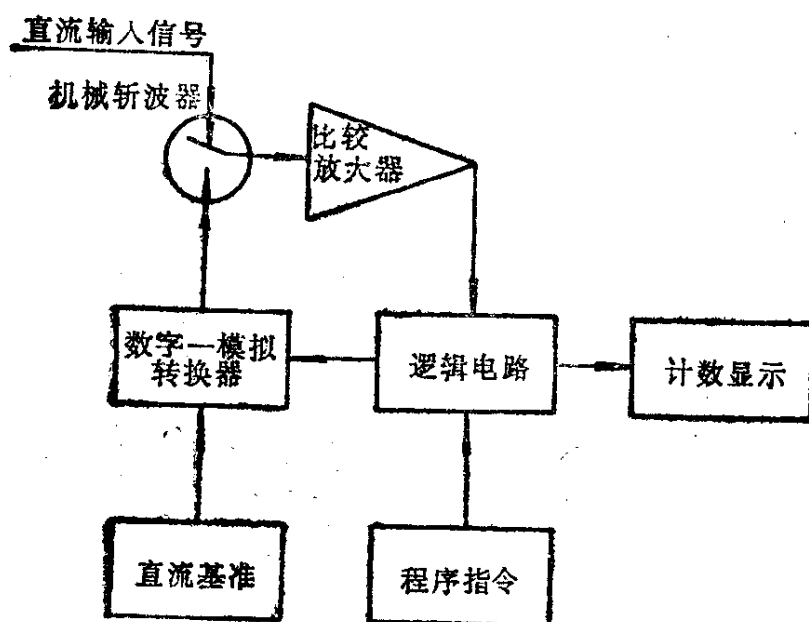


图 1-1 逐次逼近比较式原理方框图

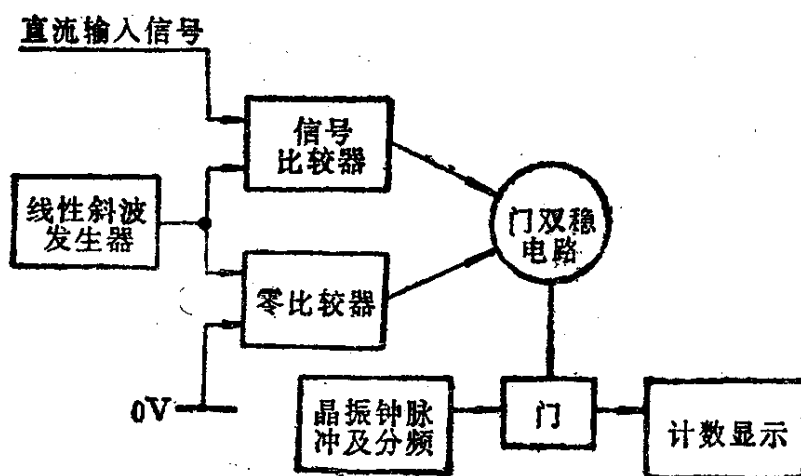


图 1-2 V/T 变换式DVM原理方框图

如图1-2所示。它是用被测直流电压和零电压之间与时间成直线性变化的斜波或阶梯波电压进行比较，再由比较器分别输出信号脉冲和零脉冲，作为起动主门的开关信号，然后，对这两个脉冲时间间隔内的晶振钟脉冲进行计数，得出被测电压。它的工作波形图，如图1-3所示。

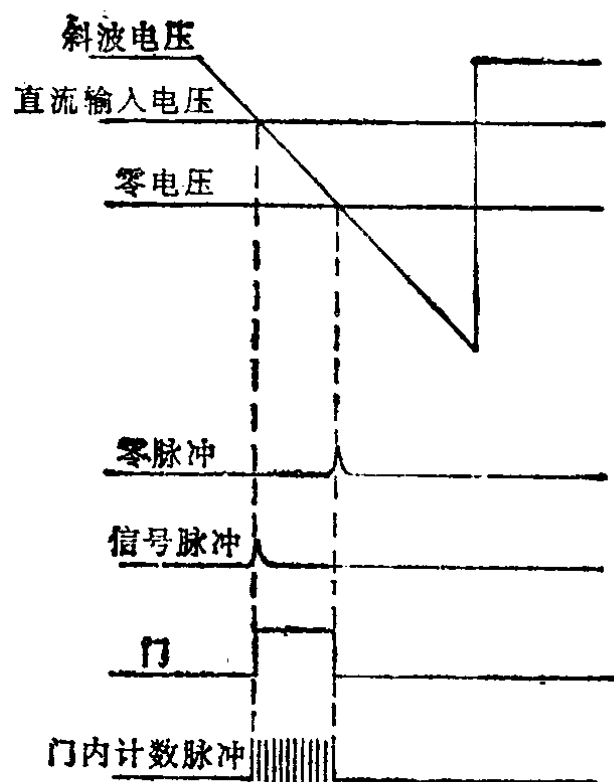


图 1-3 V/T 变换式DVM工作波形图

(二) 特点

这种型式的DVM有一定缺点：由于它受斜波或阶梯波要求高的限制，所以准确度不易提高；又由于它测量的不是平均值，故抗干扰能力弱；再之，它需要计数机构，速度也受到限制。它的优点是：具有模拟电路和逻辑电路一样的优点，即比较简单、容易制作、造价低等。

三、积分式数字电压表

(一) 原理

积分式数字电压表的共同特点是对常态干扰的抑制能力强，这主要是因为它采用平均值测量，而不是对瞬时值进行测量。以电压—频率转换式（如图1-4所示）为例，说明如下：如果将计数周期设计为工业频率周期（50Hz）的整数

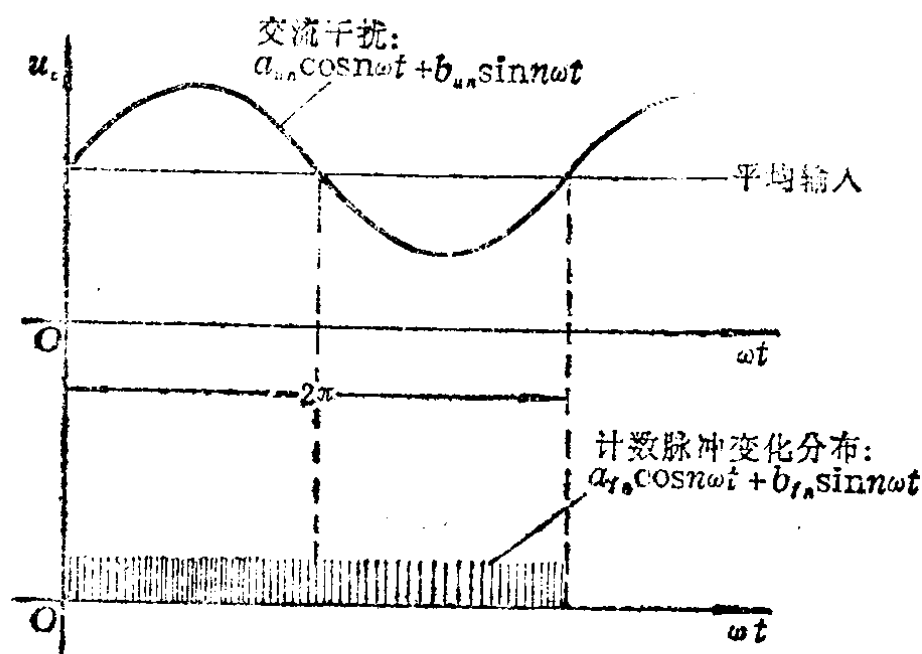


图 1-4 积分器平均值波形图

倍，则测量的结果是：工业频率及其谐波干扰在两个相邻的半周期内，一个半周期将计数脉冲增加，另一半周期将计数脉冲减少，从而在整个周期内的交流分量被平均掉，增加了常态干扰能力。一般电压—频率转换式数字电压表和电压反馈—频率转换式数字电压表原理雷同，都是把模拟电压转换为与它成比例的脉冲群，即

$$u_i = kf(t)$$

前者属于积分型的最早型式，是将被测电压直接用密勒积分器积分，因而输入阻抗较低。而后者是前者的改进型，采用电压串联反馈办法来提高输入阻抗，降低了对积分放大器、积分电阻、积分电容的要求；又因模—数（A/D）转换器和计数器用同一振荡器，不需另设晶体振荡器，这就减少了技术的繁杂程度。

（二）特点

这种积分式数字电压表的优点是：能得到连续脉冲群，

因此，可用于累加计数，还可兼作频率计。缺点是：当交流成份增加到某一数值时，模数变换器不再是线性的，这样在任何时间间隔内所引起的误差不能全部抵消，因此抗干扰能力是有限的。

(三) 双斜率式DVM

双斜率式数字电压表的原理是：先把被测的模拟电压进行积分，然后再以基准电压进行反向积分，得到与被测模拟电压成正比的时间间隔，在此时间间隔内进行脉冲计数，即得被测电压，见原理图1-5。如果第一次积分的时间为工业频率的整周期数，则混在直流里的电源频率及其谐波干扰将被完全平均掉，只要交流幅度不超过积分器的动态范围就能保持正常工作。因此，它既有积分式能测平均值的特性，又有电压—时间变换原理的特色。它的抗干扰能力很强，即使在交流成分比直流成分大（但不超过放大器的动态范围）的情况下，也能获得比较正确的读数。同时，两次积分的结果，提高了仪器的稳定性，从而又显著地提高了准确度。其缺点是，因进行了两次积分，故测量速度较慢。

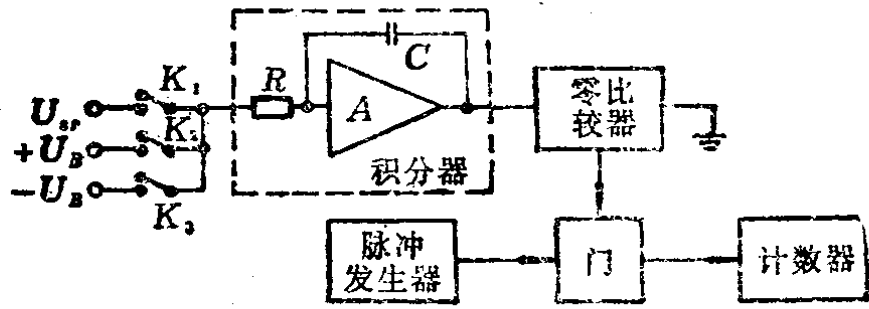


图 1-5 双斜率式DVM原理方框图

(四) 脉冲宽度调制式数字电压表

在原理上它属于积分式，与双斜率式相比，抗干扰能力稍低，与电压—频率变换式相比，性能差不多。图 1-6 为其

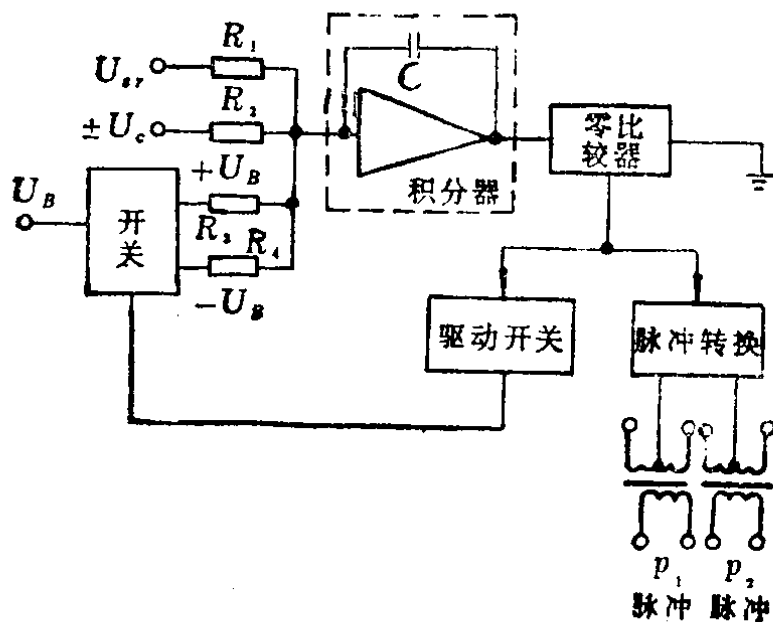


图 1-6 脉冲宽度调制式原理框图
 $\pm U_c$ —节拍方波讯号

原理框图。

(五) 复合式 DVM

为保证同时获得高精度和高灵敏度，采用了比较式和积分式的复合方式原理。它吸取了这两种转换方式的优点。在测量过程中将被测量分成两个部分，即高位和低位，见图 1-7 原理框图。它先将高位的电压量进行模—数 (A/D) 转换，然后将转换后的数字量进行数—模 (D/A) 转换，并使其极性与被测电压的相反，得到正反两次的电压测量差值，再将此差值进行模—数 (A/D) 转换，得到被测量的低位数，最后显示测量结果，得到被测电压的数字显示值。这种复合式测量原理，具有比较式高速度、高准确度的优点，又具有积分式的串模抑制能力 (NMR)。它的灵敏度可达 $1\mu V$ 。为克服电路中干簧继电器的热电势变差和前置放大器的漂移问题，采用可逆计数器。零采样技术 (即自动数字零

点校正电路技术)克服了一般数字电压表中较烦琐的手动零位校正及基准权码校准等手续。这种结构,对50Hz工频干扰及噪声的共模抑制比亦可达140dB。

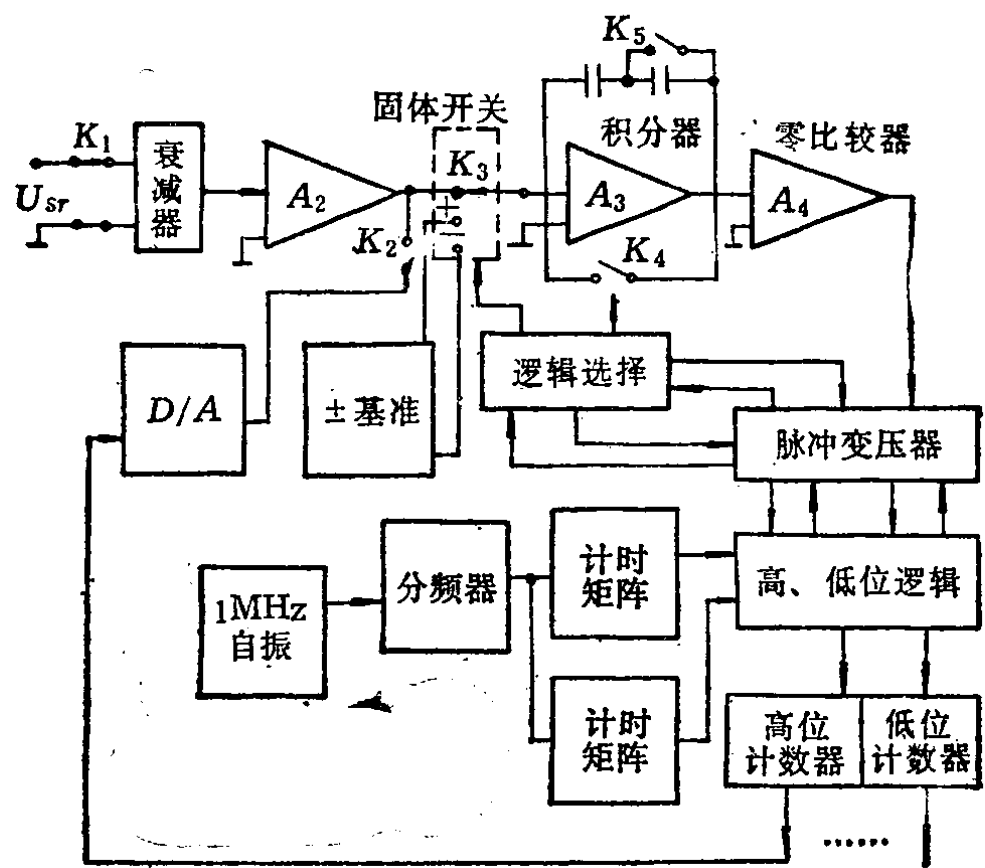


图 1-7 复合式DVM原理方框图

第二节 逐次逼近比较式数字电压表

一、结构原理和特点

这类数字电压表是一个具有反馈回路的闭环系统，测量原理是基于逐位比较的补偿测量原理，测量过程如同用电位差计测量未知电压一样，故又名自动补偿式数字电压表，它的简化原理图，如图1-8所示。

由原理图可见，它由比较环节、控制环节和标准数一模

转换器（下简称D/A转换器）等三个主要部分组成。

控制环节按一定时间程序发出节拍脉冲，控制比较标准。比较标准给出标准的反馈电压 U_s ，与被测电压 U_x 在比较环节中进行比较，决定比较后的差值电压 $\Delta U = U_s - U_x$ 的极性。紧接着控制环节发出第二个节拍脉冲，对比较标准进行控制，改变反馈电压 U_s 的数值，并再次与被测电压 U_x 按上述方法进行比较。这一过程一直进行到比较标准D/A转换器输出的标准反馈电压 U_s 于被测电压 U_x 相等为止。标准反馈电压 U_s 是已知的，表现为D/A转换器所呈现的各个数码，经译码线路就得出被测电压 U_x 的数字显示值。

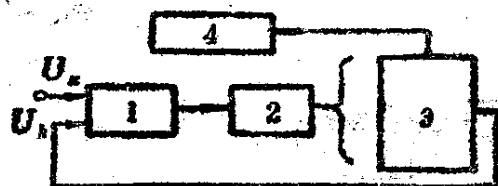


图 1-8 逐次比较式DVM原理图

1—比较环节；2—控制环节；3—D/A转换器；4—输出显示

比较环节采用高灵敏度的差值放大器，要求它能鉴别微小的差值电压的极性，并要求它灵敏度高、零点稳定、能耐过载、动态特性好。

标准D/A转换器是由一组分级式标准电阻和基准源以及一组切换开关组成。对本环节要求有高的准确度和稳定性，标准电阻的阻值可按二进位制、二—十进制或等值电阻网络配置。因此，产生的标准反馈电压也按一定的规律变化，标准电阻的切换开关必须有良好的通断特性。特别是对无触点开关，要求导通时的电阻小、残余电压小、断开时电阻大、泄漏电流小等。这一环节基本上决定了仪表的准确度。