

内 容 提 要

本书较为系统地介绍了几种数字电压表的原理和修理技术。全书内容共分二十四章，其中主要介绍：PZ-8型电压反馈逐次渐近比较式数字电压表和DYJ-2A型斜波式电压-时间转换数字电压表的原理与修理技术。同时还介绍了DS-18型数字电压表的逻辑控制原理和双积分式数字电压表的基本数量分析等内容。

本书可供无线电工程技术人员，从事数字电压表设计、教学、使用和修理人员，以及大专院校有关专业的师生阅读。

数字电压表的原理和修理

李 啸 张鸿祥 梁永一 编著

责任编辑 刘长顺



计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

中国建筑工业出版社印刷厂排版

北 京 计 量 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 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$

印张 15 $\frac{1}{4}$

字数 351 千字

印数 1—20 000

1982年10月第一版

1982年10月第一次印刷

统一书号 15210·167

定价 2.00 元

科技新书目：35—181

目 录

第一篇 数字电压表修理概述

第一章 概述	(1)
第二章 数字电压表修理用的主要仪器	(2)
第三章 修理工作中应注意的事项	(3)

第二篇 PZ-8型电压反馈逐次渐近比较式数字电压表的原理和修理

第一章 PZ-8型数字电压表概述	(6)
第一节 PZ-8型数字电压表的基本原理	(6)
第二节 PZ-8型数字电压表的工作程序	(9)
第二章 PZ-8型数字电压表的技术指标及电路分析	(14)
第一节 技术指标及使用方法	(14)
第二节 输入电路和比较鉴别电路	(17)
第三节 基准电路	(22)
第四节 起动电路	(26)
第五节 脉冲发生器	(32)
第六节 环形步进触发电路与复零极性电路	(33)
第七节 数-模转换、译码和显示电路	(39)
第八节 逻辑判别电路	(54)
第九节 量程自动转换电路	(58)
第十节 整机电源	(65)
第三章 PZ-8型数字电压表常见故障的分析和修理	(67)
第一节 不采样	(68)
第二节 饱和	(70)
第三节 显示为“00000”	(75)
第四节 跳字	(78)
第五节 仪表示值不准	(81)
第六节 叠字	(85)
第七节 显示屏上保留某字或某组字	(89)
第八节 自动量程变换工作不正常	(91)
第九节 其他常见故障	(93)
第十节 PZ-8型数字电压表在修理后的校准	(96)

第三篇 DYJ-2A型斜波式电压-时间转换式数字电压表的原理和修理

第一章 概述	(101)
第一节 斜波式电压-时间转换式数字电压表的一般工作原理	(101)
第二节 DYJ-2A型数字电压表的主要技术指标	(102)

第二章 整机工作原理和故障分析	(102)
第一节 整机工作程序的时间逻辑	(102)
第二节 整机故障分析	(105)
第三章 输入电路和故障分析	(108)
第一节 输入电路	(108)
第二节 输入电路的故障分析	(111)
第四章 输入放大器和故障分析	(114)
第一节 输入放大器的电路分析	(114)
第二节 输入放大器的故障分析	(116)
第五章 锯齿波发生器和故障分析	(117)
第一节 锯齿波发生器的电路分析	(117)
第二节 故障分析	(121)
第六章 比较放大器和故障分析	(123)
第一节 比较放大器	(123)
第二节 故障分析	(126)
第七章 门电路和故障分析	(126)
第一节 门电路	(126)
第二节 故障分析	(129)
第八章 计数器和故障分析	(130)
第一节 计数器	(130)
第二节 故障分析	(133)
第九章 量程自动转换电路和故障分析	(135)
第一节 量程自动转换电路	(135)
第二节 故障分析	(138)
第十章 继电器激励电路和故障分析	(139)
第一节 继电器激励电路	(139)
第二节 故障分析	(145)
第十一章 交流-直流AC/DC变换器及其故障分析	(146)
第一节 AC/DC变换器	(146)
第二节 故障分析	(149)
第十二章 电源和故障分析	(149)
第一节 电源	(149)
第二节 故障分析	(152)

第四篇 双积分式数字电压表

第一章 基本原理	(153)
第一节 概述	(153)
第二节 积分器原理	(153)
第三节 实现双积分原理的基本测量程序	(156)
第四节 构成双积分式数字电压表的主要单元及其要求	(157)
第二章 DS-18型数字电压表的逻辑控制原理	(166)
第三章 DS-18型数字电压表的电路分析	(170)

第一节	量程转换电路	(170)
第二节	输入放大器	(172)
第三节	积分器	(179)
第四节	检零器	(181)
第五节	模拟开关与基准源	(183)
第六节	内控电路	(185)
第七节	外控电路	(187)
第八节	计数显示系统	(189)
第九节	稳压电源	(195)
第四章	双积分式数字电压表的基本数量分析	(198)
第一节	双积分式模数转换的基本数量关系	(198)
第二节	如何达到 $a=1 \times 10^{-m}$ 的要求	(199)
第三节	影响量子化公式稳定性的各种因素	(200)
第五章	积分器的误差分析	(207)
第一节	漂移和噪声引起的误差	(207)
第二节	开环放大倍数有限引起的非线性误差	(208)
第三节	输入电阻 R_i 与积分电容漏电阻 R_c 的影响	(212)
第四节	积分器的动态特性	(212)
第六章	DS-18型数字电压表的维修	(213)
第一节	修理前的检查	(213)
第二节	故障检查方法	(213)
第三节	常见故障分析	(216)
第四节	计数器的修理	(221)
第五节	稳压电源的修理	(223)
第六节	几点说明	(224)
第七节	修复后的调整与校准	(224)

第一篇 数字电压表修理概述

第一章 概 述

数字电压表，一般由模-数转换器或数-模转换器、计数器和逻辑控制三部分组成。它服从于某种一定的逻辑安排。各部分电路都是按逻辑关系有条不紊地进行工作，以保证实现仪表所规定的各种功能。因此不管任一单元电路或构成电路的任一元件损坏或其性能参数发生变化，都可导致仪表发生工作紊乱或根本不能工作的现象。这种现象就叫做仪表出现了故障，需要进行修理。修理所要达到的目的就是排除故障，以恢复仪表所具备的各种功能和精度。为此，经过修理的数字电压表，除了应该仔细检查其各种功能的恢复情况外，还必须进行校准工作。数字电压表的正式检定是由国家计量部门，按其所规定的各种条件和程序进行的。这里所说的校准只是指数字电压表在经过修理之后，对其各量程进行初步校准，其具体方法将在以后各篇中叙述。

修理数字电压表是一件很细致的工作。由于数字电压表的精度高，分辨力也高，测量速度快，逻辑关系又较复杂，因此在修理过程中，不单是注意将仪表修复使用，而且在修理后应仍能达到所规定的各项技术指标，否则这种修理工作就不是十分成功的。从这点出发，要求修理人员进行修理工作时，不能轻举妄动，随便拆卸，随便变动线路中的各种可调元件，更不能漫无目的地东寻西找，企图侥幸找到故障所在，这样的作法很可能将仪表越弄越坏，以至不可收拾。

掌握修理技术的要领，在于对仪表的工作原理，逻辑关系，各单元电路的作用，以至某些重要部件在线路中的作用以及工艺和各种技术要求的了解。只有在掌握了这些知识之后，才能比较准确地判断出故障所在。因此，在修理之前，应该首先仔细阅读仪表的说明书，研究电路图；整机电路，单元电路都要深入了解，在弄明白了之后，才能着手进行修理。

修理的工作过程是：首先观察故障的现象。为此应按仪表的使用程序，转动面板上具有各种功能的旋钮，以观察仪表的各种现象。在需要时还应该加被测信号来进行观察，并将所观察到的故障现象记录在修理记录本上。然后根据仪表的工作原理，逻辑关系，顺理推断以确定产生故障的大部位——是转换器部分？还是计数器或逻辑控制部分。然后通过一定的测试手段以证实自己的判断是否正确。在大部位确定后，再进一步判断故障的单元电路，乃至最后找到产生故障的元件。当然在这一过程中是离不开必要的测试的。故障找到后就是排除故障，更换已经损坏的元件，或重新调整电路的工作状态，所有这些步骤都应小心谨慎，不可鲁莽。

有时产生某种故障的原因，从理论上来说，可能是多方面的。遇到这种情况，尤其要谨慎。要从可能产生这种故障的多种原因中分出主次，从主到次，有条不紊地通过检测来

最终找到发生故障的部位。

为了寻找故障的具体部位，需要进行必要的测试。一般说来，这种测试大致分成两类。一类是静态测试。所谓静态测试是指在不加被测信号的情况下，测量电路的有关静态电位或电流，或某两点之间的电阻等，如果电路有毛病，则测得的静态数据将不同于原给定的数据，从而发现故障的部位。另一类是动态测试。这是指在加上被测信号后，测量有关工作点的工作波形，各种指令的有无以及其宽度幅度等。用这种方法也能找到故障部位。但到底用哪种方法为最适宜，就要看具体的情况，有时用一种方法就能确定故障部位，有时两者得结合起来。

一种最简单的寻找故障的方法就是代替法。当对故障进行了观察分析和判断之后，可以将被怀疑的单元电路板取下来，另用一块同样的工作正常的单元电路板代替，如果仪表恢复了正常，这就证明自己的判断是正确的；如果故障仍然存在，就说明判断错误，需要进一步分析原因，再用代替法试试，这样最后总是可以找到有故障的单元电路板。然后再用检测仪器来寻找单元电路板中产生故障的具体元件，这是比较轻而易举的方法。当然，这要求修理者备有各种相应的单元电路板，在一般情况下这个条件是很难具备的。但对修理人员来说，还可以有别的办法，例如将待修的同型号的仪表集中修理，这样就可以互相代替，这就可以不必另备一套单元电路板。此外仪表中有些单元电路板，如计数单元，寄存单元，译码显示单元，在同一台仪表中本来就有多块，完全可以利用这台仪器本身的电路板来互相取代，寻找故障的所在。

总之，修理的主要工作就是寻找故障。要想比较迅速而准确地找到故障的部位，就有赖于修理者对仪表全面而深入的了解。这就是掌握修理技术的关键所在。

第二章 数字电压表修理用的主要仪器

在修理过程中，必须使用一些相应的检测仪器。这些检测仪器就是修理人员的侦察工具，以搜寻故障的具体部位和损坏变质的电路元件。因此，从事数字电压表修理工作的专业人员，必须具备有一套得心应手的检测工具。总地说来，要求这些仪器灵敏度高、准确性强，使用方便。对修理数字电压表来说，主要需要使用的仪器有：

一、示波器

一般频响在20MHz左右的双线脉冲示波器就可以满足需要。如果有条件的话还可以准备一台频响下限在0.1Hz以下的慢扫描示波器。示波器主要用来观测各检测点的波形，如各单元电路的输入和输出波形，整流电源的纹波系数，各种指令和控制信号及节拍脉冲等；在振荡电路中，可测量出振荡波形、幅度和振荡频率；在分频或倍频电路中，可测量出分频或倍频比；还可以用来粗略地测量某些工作点的电平变化；在调制放大电路中，示波器还可用来观察调制与解调的相位关系，如此等等。总之，示波器是修理数字电压表不可缺少的主要工具。

二、脉冲信号发生器

脉冲信号发生器主要用来对数字电压表中某些电路进行检查，要求其重复频率、脉冲幅度及宽度均可调节。在寻找故障时，有时为了判断故障是发生在电路某点之前或之后，往往将该点前后电路断开，输入电路所要求的脉冲信号，以观察其结果，就能确定故障的

区域。这是有效地寻找故障的方法之一。

三、晶体管图示仪

它用来测量各种晶体管的特性参数，并能直接从荧光屏上观察到各种特性曲线的几何图像，从而准确地判断晶体的性能。在修理过程中，常常遇到的情况是晶体的性能变差而不是完全损坏，对这种晶体管必须用图示仪检查以确定其是否适合于再用到电路中去。对于一些由双管所构成的对称电路，如双稳态触发电路、差分放大电路等，则要求两管的参数基本相同，如果两管参数差别过大，即使两管都是完好的也将破坏电路所具有的功能，所以都需要用图示仪来进行检查。在更换新的晶体管时，需要挑选适合电路要求的管子，故晶体管图示仪也是修理数字电压表的重要工具。如果没有晶体管图示仪，则应准备一台晶体管参数测量仪。

四、电子电压表

在数字电压表中，绝大部分电路都属于小讯号低压电路。因此在测量各工作点的电压时，要特别注意所使用的测量仪表。这里所提出的要求主要是测量仪表必须具有大的输入阻抗。因为如果测量仪表的输入阻抗低，那么在并入被测电路时，将产生很显著的分流作用，以致被测电路的工作状态将发生变化，故所测得的结果就不是电路的真实状态，从而可能作出错误的判断。电子管和晶体管电压表都具有很大的输入阻抗，很适宜于用来测量数字电压表中电路的工作状态。量程可选用从1mV到300V的多量程仪表。

五、万用电表

用来对电路、二极管、晶体管及其他电路元件作粗略测量。也应当挑选内阻高的万用电表为宜。

六、直流电源

在检查数字电压表时，有时需要在有信号输入的情况下进行检查。而且仪表在修理之后，也需要对仪表的各量程进行初步试验，因此需要准备一个直流电压源。对电压源的要求：1.具有与数字电压表量程相适应的输出电压。2.连续可变。3.稳定。4.电压的最小分度值能适应数字电压表的分辨力。

第三章 修理工作中应注意的事项

在进行修理工作时，应注意下列事项。

一、分析仪表的使用情况和过去的修理情况

尤其要了解仪表在发生故障时的使用情况。例如有的仪表是在经过了长途运输之后发生了故障；有的是在高温或低温环境里使用时发生的故障；有的是在常温情况下使用时发生的故障；有的是在高湿度环境里使用时发生了故障；有的是在错误使用时发生的故障；有的是在长期闲置之后再使用时发生了故障，如此等等。根据这些环境和使用条件的不同，对判断产生故障的原因和部位往往是很有帮助的。此外，对仪表过去修理的情况也应详细了解，过去出现过一些什么毛病，更换过哪些元件，调动过哪些电路都要询问清楚。在开机修理时，对过去修理中所更换过的元件，调动过的电路，都要特别注意检查。为此，对于专业修理人员来说，应该建立仪表修理记录档案，以记录仪表的修理过程，如故障现象，部位，故障的排除，更换过的元件，调动过的电路等等。这些记录，对同一台

仪表再次发生故障需要修理时是很有参考价值的。

二、观察故障现象

这是很重要的一个步骤。如果粗枝大叶,故障现象没有观察清楚,或者听别人说一下故障现象就动手修理,往往会走弯路,甚至出事故,尤其在仪表存在着多种故障的情况下更是如此。因此,在合闸开机后,应仔细观察故障现象。面板上的各个功能旋钮都应转动,在各种不同的功能的情况下,全面观察仪表的故障现象,并将其现象详细记录下来。然后断电关机,打开外壳,取出机芯。详细观察机内情况,检查各种电路插件位置是否正确,插件是否稳固,接触是否良好;可调元件的固定情况,各分立元件的位置是否端正;各种走线有无掉焊、脱落、接触不良等情况;特别是接在转换开关上的元件、硬线、软线尤应注意,有无短路或断路之处;各接地点、屏蔽线、屏蔽罩等的接地焊接情况。除此之外,还应注意机内有无不相干的异物,如螺丝、螺帽,垫片,线头,其他金属片或昆虫等。这些外观检查是很必要的,有些故障,经过仔细的外观检查就可发现,很快就能解决问题。但在实际工作中往往忽略了外观检查,忙碌了半天,也找不到故障所在,以至产生急躁情绪,乱拆乱卸,反而弄出更多的毛病来。

三、寻找故障

寻找故障首先要克服盲目性,不能无根据地乱找。在故障现象弄清楚之后,应从仪表的整机原理来推断产生故障的原因。例如首先判断出故障是出在模数或数模转换部分?还是计数部分或者是逻辑控制部分?应该通过检测手段将大的部位确定。然后再通过同样的办法,一步一步地缩小范围,直到最后找出损坏或变质了的元件。所以故障的寻找是一个从仪表的原理出发,对故障不断进行分析判断测试的过程。范围由大到小,循序渐进,耐心细致。切不可盲目地乱找,这种作法将是徒劳无功的。

四、排除故障

在故障部位找到后才能着手排除故障。或更换已损坏的元件,或重新调整电路的工作状态等。必须注意,不管是更换元件或调整工作状态,都必须按仪表的原设计要求来进行,不可勉强凑合。尤其在一些关键部位的元件,例如讯号相加网络的对称电阻、权电阻网络、输入衰减网络、积分电容、场效应管或机械斩波器,开关电路,差分对,双稳态触发电路、标准稳压管等等。这些元件都关系到仪表的精度和灵敏度。若换上不符合要求的元件,即使仪表能正常工作,也将会造成灵敏度下降,精度降低等恶果。所以为了保证修理工作的高质量,应该准备一些经过老化工艺处理后严格筛选出的元件,以备更换。

五、注意操作

在寻找故障的过程中,当然要使用诸如电子电压表、万用电表、示波器等检测仪器来观察检查点的电压或波形。这些仪器都具有相应的探头,工作人员是用探头来与被测点接触的。由于印刷电路板,尤其在使用集成电路的印刷电路板布线安排比较紧密,各元件间的空隙都不大,而且电路和元件都是裸露的,这就要求在使用探头时应特别小心,稍不留心,很容易造成线间短路。这样就会损伤电路,甚至烧坏元件或晶体管,有时一下子能烧坏一大串。尤其在直流放大电路中更应小心,因为直流放大电路一般采用直接耦合方式,某处的电压或电流的突变将直接影响整个电路。此外,印制电路板在单元电路制成调好之后,都刷了一层很薄的绝缘漆以保护电路板,一般说来,这并不妨碍电路的测量,但有时存漆过多,或者工艺不严格使刷漆过厚,都可能使探头不能真正接触到元件或电路走

线，以至造成测试仪表的错误示值或不正确的波形图，从而使工作人员做出错误的判断。因此工作人员在进行测试时，应特别注意探头的使用，既不能造成短路事故，也不容许有虚假接触的现象。在更换晶体管时，尤其是场效应管，应特别注意焊接技术，否则很容易损坏管子，接触加热时间不能过长，要用镊子夹住管脚以加快散热速度，在焊接场效应管时，烙铁必须接地或者将烙铁加热后，断开烙铁电源再进行焊接以保证不致损坏场效应管。元件焊上之后，要重新检查一次，以避免虚焊或焊点之间的短路现象。

六、复原

仪表在修好之后，要注意复原工作。经过焊接的单元电路板和各焊接点，都要清洗干净。尤其在使用酸性焊油后，一定用酒精毛刷清洗，不要留有焊油痕迹，以免日久电线或元件受到酸性焊油的腐蚀，这一点对晶体管电路和印刷电路板是很重要的。这里介绍一种可自制而又腐蚀性小的焊接剂，将20至30克松香磨碎，用100ml酒精化开贮放在磨沙口的玻璃容器里就可使用。此外，各种插件都要插得稳固，接触良好，压条或压板要牢固不得松动。调动过的可调元件，在调好之后应重新固定好，原来是蜡封的应重新用蜡封好。电路板中的各种元件的位置要重新调整整齐，不要弄得东倒西歪。屏蔽盒、屏蔽片及各接地点都应焊接可靠。一切复原工作都做好后，再将整个机芯装入机壳中，并固定可靠，然后再次加电开机进行一次试验，证明一切良好，修理工作才算圆满完成。

第二篇 PZ-8型电压反馈逐次渐近 比较式数字电压表的原理和修理

第一章 PZ-8型数字电压表概述

第一节 PZ-8型数字电压表的基本原理

PZ-8型数字电压表是按逐次渐近反馈编码原理设计的数字电压表。它的工作原理和用天平来称量物体的重量的原理相类似，因此又有电压天平之称。为了对这种数字电压表有一个大体的概念，先研究一下天平称物的过程是很有帮助的。

例如有一架称量为10克的天平，与它配套的砝码分别为4克，2克，1克，0.5克，0.25克，0.125克，0.0625克，0.03125克等8个砝码。在这一套砝码中，每后一个砝码的重量是它前一个砝码重量的二分之一。这是有意如此安排的，为的是使这组砝码相互之间可以看成是二进制的关系，以使用二进制数来表示。

现有一物体，其实际重量为3.28129克，用这架天平和这组砝码对此物进行称量，其称量程序如下所述：

第一步 由于事先并不知道物体的重量，所以将最大的砝码，即4克的砝码加上与被称物体在天平上进行比较。比较结果发现砝码重于被称物体，于是应将4克的砝码从天平上取下。这就是说，4克的砝码被舍弃不用。这种砝码被舍弃的情况，用二进制数字中的“0”来表示。于是第一次比较的结果记为“0”。

第二步 将2克的砝码加到天平上与被称物进行比较。比较结果发现被称物重于砝码，于是2克的砝码被保留在天平上。这种砝码被保留在天平上的情况，用二进制中的数字“1”来表示。于是两次比较的结果记为“01”。

第三步 由于被称物体还是重于砝码，于是再将1克的砝码加到天平上。比较结果，仍未超过被称物体的重量，1克的砝码被保留，记为“011”。

第四步 再加上0.5克的砝码，比较结果，发现砝码的总和已超过被称物体的重量，于是将0.5克的砝码舍弃，记为“0110”。

第五步 再加上0.25克的砝码，未超过被称物体的重量。0.25克的砝码被保留，记为“01101”。

第六步 再加上0.125克的砝码。已超过被称物体的重量，0.125克的砝码被舍弃，记为“011010”。

第七步 再加上0.0625克的砝码，仍然超过被称物体的重量，0.0625克的砝码被舍弃，记为“0110100”。

第八步 再加上0.03125克的砝码，比较结果发现砝码的总和 仍略小于被 称物体的重量，但天平已接近于平衡。0.03125克的砝码被保留，记为“01101001”。

至此现有全部砝码都已用完，也就是说这次称量过程已经进行完毕。当然如果还有更小的砝码，称量过程还可继续进行下去，直到将所有砝码都试完为止。经过上述八个步骤比较，得到的结果如下表所示：

砝 码	4 克	2 克	1 克	0.5 克	0.25克	0.125克	0.0625克	0.03125克
二 进 制	0	1	1	0	1	0	0	1

前已说明，记为“1”的是保留在天平上的砝码，记为“0”的是从天平上取下来舍弃的砝码。那么经过八个步骤比较所得结果“01101001”就是按二进制数表示出来的所称得物体的重量。为了用十进制数来表示所称得物体的重量，只需将保留在天平上的所有砝码都加起来，就是被称量物体按十进制数表示的重量。于是得到如下的表达式：

$$2\text{克} + 1\text{克} + 0.25\text{克} + 0.03125\text{克} = 3.28125\text{克}$$

这次称量所得到的结果与物体的实际重量相差为

$$3.28129\text{克} - 3.28125\text{克} = 0.00004\text{克}$$

这个相差数就是这次称量结果的误差。从这里可以看出，如果将砝码再细分下去，可以使称量的误差越来越小。若是无限制的细分下去，就有可能称量出物体的实际重量，使称量误差接近于零。但是天平的感量（即灵敏度）却限制了这种可能性，因为小于天平感量的砝码是没有意义的，因此这种称量不可能无限制地进行下去。

把上述天平称物的原理应用于测量某一未知电压同样是可行的。

假设有一架能称量电压的天平，这样的天平可称之为数字电压表；它具备有一套电压砝码（以后简称电压码），和上述天平砝码一样，后一位电压码为前一位电压码的二分之一，例如这套电压码为：

$$\frac{1}{2^0}u_N, \frac{1}{2^1}u_N, \frac{1}{2^2}u_N, \frac{1}{2^3}u_N, \dots, \frac{1}{2^n}u_N \dots$$

电压码取多少个，主要取决于数字电压表的灵敏度。数字电压表的灵敏度就相当于天平的感量。因此小于数字电压表的灵敏度的电压砝码也同样是没有意义的。由此可知，电压砝码是有限的，最小的电压砝码不能小于数字电压表的灵敏度。

现有一套电压砝码分别为2V，1V，0.5V，0.25V，0.125V，0.0625V，0.03125V。用这一套电压码来测量实际值为 $u_x = 1.34380\text{V}$ 的电压，其步骤如下：

第一步 将最大的电压码加上与 u_x 进行比较。比较结果因为 $2\text{V} > u_x$ 。于是此码舍弃，记为“0”。

第二步 将1V电压码加上，由于 $1\text{V} < u_x$ ，此码被保留，记为“01”。

第三步 将0.5V码加上，得 $1\text{V} + 0.5\text{V} = 1.5\text{V} > u_x$ ，此码舍弃，记为“010”。

第四步 将0.25V码加上，得 $1\text{V} + 0.25\text{V} = 1.25\text{V} < u_x$ ，此码保留，记为“0101”。

第五步 将0.125V码加上，得 $1.25\text{V} + 0.125\text{V} = 1.375\text{V} > u_x$ ，此码舍弃，记为“01010”。

第六步 将0.0625V码加上，得

$$1.25\text{V}+0.0625\text{V}=1.3125\text{V}<u_x$$

此码保留，记为“010101”。

第七步 将0.03125V码加上，得

$$1.3125\text{V}+0.03125\text{V}=1.34375\text{V}<u_x$$

此码保留，记为“0101011”。

至此所有的电压码都试过了，测量已经完成，得到一个用二进制数表示的测量结果为“0101011”。这就是将被测电压 u_x 转化成了用二进制数表示的电压数0101011V。为了再把它转化成人们所熟悉的按十进制数表示的电压数，只需将被保留的电压码加起来，所得总和就是以十进制数表示的测量结果，即

$$1\text{V}+0.25\text{V}+0.0625\text{V}+0.03125\text{V}=1.34375\text{V}$$

它与被测电压实际值的差为

$$1.34380\text{V}-1.34375\text{V}=0.00005\text{V}$$

这就是测量结果的误差。

通过上述过程，可以看出，要用这种方法来实现电压测量，必须具备下述几个条件：

第一、首先要具备一套标准电压砣码（以后简称为标准码）。这套标准码常常是由一个高度稳定的恒压源与一个用精密电阻按一定的规律组成的有源网络的组件来提供，它被称之为“解码网络”。很明显，它对测量精度起着非常重要的作用。

第二、要有一个灵敏度很高的比较鉴别系统，以便将由解码网络经反馈网络送来的标准码与被测电压的大小进行比较；并鉴别出比较结果的极性，亦即鉴别出 u_N-u_x 为正还是为负；而且要将比较结果的极性信息送至逻辑判别电路，以决定参预比较的该标准码是应当被保留还是应该舍弃。

第三、要具备一套相应的逻辑控制电路，以便能按规定的逻辑程序来完成下列任务：

1. 必须保证参预比较的标准码是从最大到最小，即从高位到低位逐位参预比较。
2. 根据由比较鉴别系统送来的比较结果的信息，作出逻辑判别，发出指令以决定是否保留参预比较的该位标准码。

第四、要具备一套寄存器，以保存每次参预比较的标准码是“1”还是“0”，即此码是保留还是舍弃。但所有寄存器的最后状态是受逻辑控制电路所发出的指令来控制的，而各寄存器的状态又决定了解码网络所输出的标准码。所有由解码网络逐个送出的标准电压码都在公共母线上相加后转换成电压模拟量。这些由标准码相加而成的电压模拟量又反过来（即经反馈回路送到输入端）与被测电压在比较鉴别系统中进行比较。根据比较的结果，通过逻辑控制电路再来决定寄存器的最后状态。所以整个过程是一个相互依存的闭环过程，这个过程称之为“电压反馈”。又由于此过程是逐位依次渐近地进行比较的过程，因此这种数字——电压转换的方法，称之为“逐次渐近比较反馈编码”原理。

应用逐次渐近比较反馈编码原理设计制造的数字电压表，其测量速度取决于数模转换器所使用的开关形式和比较鉴别电路。如果采用舌簧继电器等磁电开关，其测量速度只能达到每秒几次至几百次，但若采用晶体管等开关，由于其开关速度只取决于晶体管建立电流的时间，而这个时间通常在微秒数量级，故开关速度可以很高，一般都可达到每秒数千次或上万次均可。这是逐次渐近比较技术的主要优点。

逐次渐近比较反馈编码式数字电压表的精度主要取决于内部基准电压和数模转换器。

内部基准电压越稳定和准确，构成数模转换器的电阻越精密，则标准电压码的精度越高。前面已经说过，从理论上说，如果将内部基准电压的精度和稳定度提高，那么只要增加数模转换器（即解码网络）的位数，就可大大提高这种数字电压表的精度和分辨力。为了分辨力的提高，当然还相应地需要提高比较鉴别电路的灵敏度，这是可以作得到的。但事实上，由于这种类型的数字电压表的比较过程是瞬时的静态电压的比较，因此很容易受到环境干扰信号及噪声信号的干扰，而仪表本身的抗干扰能力却比较低，由于这些原因，就大大地限制了这种数字电压表的精度，一般只能做成三至五位十进位数的仪表。这是逐次渐近比较反馈编码式数字电压表的主要缺点。克服这个缺点的方法，通常是在输入端增加低通滤波器，以提高仪表的抗干扰能力。但这样一来却又增加了仪表的响应时间，不能发挥其高速度的优点。除此之外，前面也已提到，由于比较鉴别电路与解码网络所输出的标准电压之间是一个互相依赖的闭环系统，从而使仪表的逻辑动作复杂化，在这个闭环系统中的各个环节都彼此相互影响，这也是它的缺点之一。

根据以上所述，逐次渐近比较反馈编码式数字电压表的原理结构可以用图 2-1-1 的方框图表示。

从方框图看出，整机由三大部分组成，即数模转换部分，比较鉴别部分和逻辑控制部分。整机电源图中没有画出。数模转换部分包括基准电压源、解码网络、数码寄存器和译码显示器。比较鉴别部分除了比较鉴别电路之外，还有输入电路。逻辑控制部分包括起动电路，4kHz 脉冲源，环形步进电路和逻辑控制电路。整机的工作程序将在下一节详细叙述。

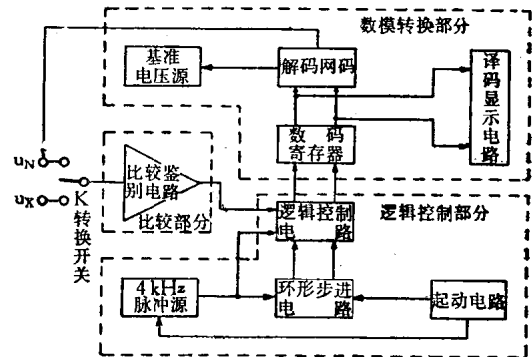


图 2-1-1 逐次渐近比较反馈编码式数字电压表原理方框图

第二节 PZ-8型数字电压表的工作程序

为了说明PZ-8型数字电压表的工作程序，将PZ-8型数字电压表的逻辑方框图示于图 2-1-2中。

PZ-8型数字电压表的核心是基准电压码和比较鉴别电路两部分。基准电压码电路包括基准电压源、基准放大器、数码开关及权电阻网络等。比较鉴别电路的功能是将被测电压 u_x 与由解码网络反馈来的基准电压 u_N 进行比较，以鉴别出 $|u_x| - |u_N|$ 的极性。它所能鉴别出来的最小电压码，实际上就是数字电压表的分辨力，因而也就决定了电压表的灵敏度。测量结果的精度主要是由解码网络所输出的电压码的精度来决定的。

电压表是这样开始工作的，在接通电源后，当采样方式一经决定，采样电路即发出采样指令，打开起动与门，使起止双稳触发电路翻转成起态，发出起步脉冲去触发环形步进电路的第一级“环进1”。与此同时，起步脉冲还触发脉冲发生器起振，输出频率为4kHz的脉冲作用于环形步进触发电路的每一级。

环形步进触发电路，或称移位寄存器或者叫做脉冲分配电路，是由十九级射极耦合触发电路所组成，在工作时有十八个稳态一个暂态。在起止双稳翻转成起态时，它所发出的

起步脉冲使第一级环形步进触发电路得到触发而开始工作，它的输出分成三路。第一路去触发复零电路，使复零电路发出复零脉冲指令，各级数码寄存双稳电路全部复零。另一路经微分电路微分后，其前沿触发极性双稳翻转成负极性状态（极性双稳的原态为正极性状态），其后沿又可使极性双稳翻回成正极性状态，但极性双稳电路是否一定翻转成原来的正极性状态，取决于判别门也就是判别单稳的状态。判别门及判别单稳的状态是受比较鉴别电路和极性双稳电路的双重控制的，而比较鉴别电路的输出状态又取决于该电路中的“记忆电容”所存储的被测电压的极性。当极性双稳所表征的极性与被测电压的极性一致时，判别门将处于“逻辑肯定”状态，极性双稳电路就不会受脉冲后沿的再触发而翻转回原来的正极性状态；反之则判别门将处于“逻辑否定”状态，极性双稳电路就将被脉冲后沿的再触发而翻转成原来的正极性状态，以使它所表征的极性符号与被测电压的极性相同。在极性显示的同时，也就选择好了极性与被测电压相同的基准电压。第三路用来触发下一级环形步进触发电路工作。

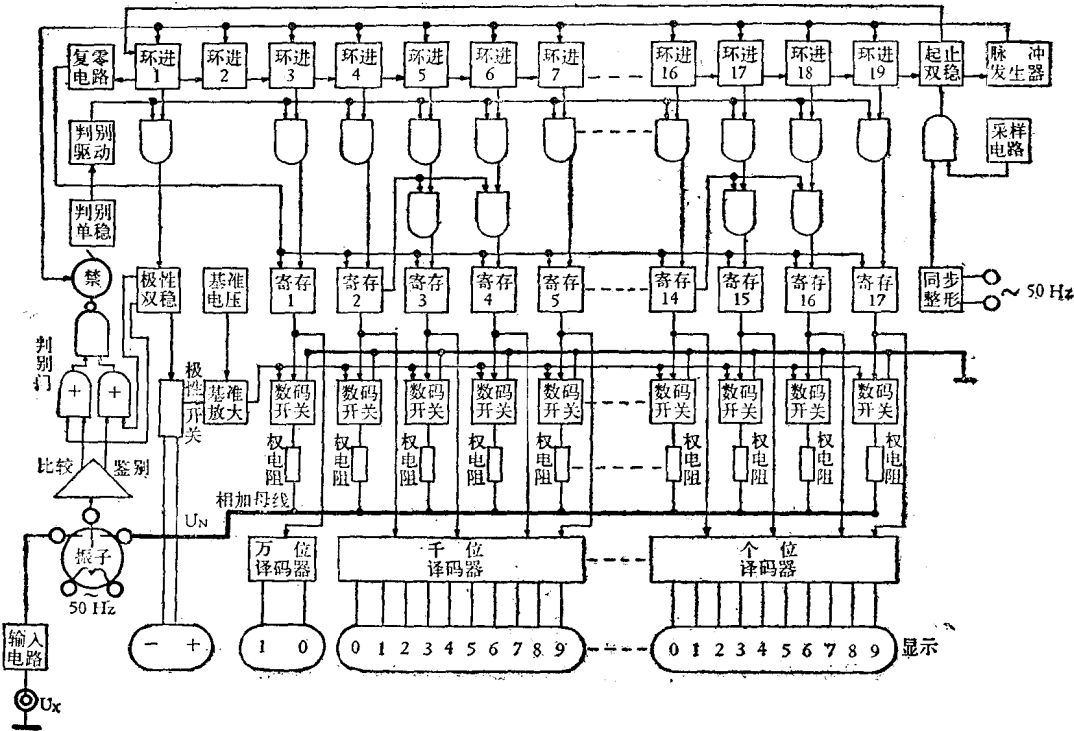


图 2-1-2 PZ-8型数字电压逻辑方框图

环形步进触发电路的第二级为间歇级，即所谓空拍。这个空拍的意义在于它提供了一个250μs的间歇时间，以使基准放大器在基准电压的极性改变时有一个足够的调整时间。

从第三级到第十九级分别依次与十七级数码寄存器相连接。数码寄存器是由一系列双稳态触发器按“8”、“4”、“2”、“1”编码的电路所组成，它们都受步进脉冲的控制。第一级双稳态寄存器寄存 10^4 位的数0和1，余下十六级双稳态寄存器按四个一组分为四组，分别寄存 10^3 位， 10^2 位， 10^1 位， 10^0 位的“8、4、2、1”数码。为了防止每位数的四个双稳态电路全部翻转，从而使其寄存数超过9，采用了连锁电路，这个电路保证当每位数中，在其权为“8”的双稳态触发电路置“1”并被保留之后，使权为“4”

及“2”的两个双稳态触发电路根本不能被触发置“1”，只有其权为“1”的双稳触发电路可以置1。这样就保证了最大数只能是“9”。在“8”双稳置“0”的情况下，连锁即被解除，因而“4”双稳及“2”双稳都可置“1”了。

各数位的数码寄存器都通过相应的数码开关与按8、4、2、1编码制组成的解码网络中的权电阻相连接，使解码网络受数码寄存器的控制。解码网络能够依次分别输出10000，8000，4000，2000，1000，800，400，200，100，80，40，20，10，及8，4，2，1个单位的标准电压码。同时各数位的数码寄存器又分别通过译码电路来控制十进数字显示器，以使能显示出人们所习惯的十进制数字。

当步进触发脉冲经微分电路微分后，其前沿使数码寄存双稳电路翻转置“1”，从而打开相应的数码开关，使解码网络中相应的权电阻与由基准放大器供给的基准电压源接通，产生相应的标准电压码，这个标准电压码被反馈到比较鉴别电路与被测电压进行比较，此标准电压码是否保留，取决于比较结果。

比较鉴别电路是一个开环增益很大的直流放大器，它采用差分放大的原理组成，其输入端接在一个机械振子的振簧固定端上，机械振子受频率为50Hz的调制信号激励，振子的另两个触端，一个与被测电压的输入网络相连接，被测电压的输入网络由滤波器，比例衰减电阻组成。另一个触端与解码网络的输出相加母线相连接。在频率为50Hz的调制信号的前半周，被测电压讯号通过输入网络及机械振子进入比较鉴别电路，并储存在第一级差分对的栅极回路中的记忆电容上；在50Hz调制信号的后半周，由解码网络输出的标准电压通过机械振子进入比较鉴别电路，并与储存在记忆电容上的被测电压进行比较。比较结果，当 $|u_N| \leq |u_X|$ 时，比较鉴别电路处于欠补偿状态，它的输出使逻辑控制电路的判别门处于逻辑肯定状态，于是步进触发脉冲的后沿就不能再触发该数码寄存双稳电路翻回原状态而置“0”，此电压码就被保留下来，这个过程称为“加码”过程。反之当 $|u_N| > |u_X|$ 时，比较鉴别电路就处于过补偿状态，它的输出将使判别门处于逻辑否定状态，步进触发脉冲的后沿就能使相应的数码寄存双稳电路受到再触发而翻转为原来的置“0”状态，相应的标准电压码就被舍弃，这一过程称之为“减码”过程。由此可看出，加码或减码都决定于比较鉴别电路的比较结果。

在步进触发脉冲的作用下，以250μs为一步，由高位到低位，由大数码到小数码，依次逐位加码与被测电压进行比较，根据比较鉴别电路的比较结果来控制判别门的逻辑状态（肯定或否定两种状态），以决定由解码网络输出的标准电压码的取舍。于是所加标准电压码的总和逐步趋近于被测电压的大小。当第十九个步进触发脉冲作用到第十七级数码寄存双稳电路时，比较过程即告完结，而第十九个步进触发脉冲的后沿却同时送到起动电路的起止双稳电路，并使起止双稳电路翻回到原来的止态，于是4kHz脉冲发生器停振，环形步进触发电路亦停止工作，一次测量即告完成，仪表处于等待下一次起动以进行下一次测量的状态。此时，所加标准电压码的总和就近似等于被测电压的大小。数码寄存器所寄存的数码就是与被测电压相对应的数字量。这个数字是用二进制数表示的，经译码电路将此二进制数翻译成十进制数由数字显示器显示出来，以完成模数转换。整个测量过程的周期为20ms。

现以被测电压为+1.0186V为例来说明整个测量过程。

在50Hz调制讯号的后半周，环形步进触发电路开始工作，标准电压码与被测电压在

比较鉴别电路中进行比较。在步进触发脉冲的作用下：

第一步 全部数码寄存双稳电路复零，极性双稳在步进脉冲前沿的作用下先翻转成“负”极性状态，由于被测电压为正极性，故被判别门判别为逻辑否定，从而使步进脉冲后沿触发极性双稳电路又翻转成“正”状态，极性显示器显示出“+”极性符号。与此同时也选定了标准电压为正极性，此标准电压为基准放大器所输出的+4V的稳定电压源。单位标准电压码为0.0001V。

第二步 为间歇空拍，使基准放大器得到一个调整时间。

第三步 数码寄存双稳电路使解码网络输出+1.0000V的标准电压码，此码与被测电压进行比较，比较结果为 $|u_N|(1.0000V) < |u_X|(1.0186V)$ 。故逻辑电路判别为逻辑肯定，此码被保留。

第四步 0.8000V标准电压码被加上，从而使标准电压码累加为

$$1.0000V + 0.8000V = 1.8000V > 1.0186V$$

故判别为逻辑否定，0.8000V标准电压码被舍弃。

第五步到第十步 解码网络逐级给出标准电压码：0.4000V，0.2000V，0.1000V及0.0800V，0.0400V，0.0200V。并依次与原保留的标准电压码1.0000V相加后与被测电压进行比较。所有上述各个标准电压码分别与原保留的标准电压码相加后的总和都大于被测电压，故从第五步到第十步的加码过程中，判别门都处于逻辑否定状态，故所加这一系列标准电压码都一一被舍弃，被保留的仍然只有1.0000V这个标准电压码。

第十一步 0.0100V标准电压码被加上，其总和为

$$1.0000V + 0.0100V = 1.0100V < 1.0186V$$

应当判别为逻辑肯定，0.0100V标准电压码被保留。

第十二步 0.0080V标准电压码被加上，其总和为

$$1.0100V + 0.0080V = 1.0180V < 1.0186V$$

判别为逻辑肯定，0.0080V标准电压码被保留。

第十三步和第十四步 本来应该由解码网络给出0.0040V和0.0020V两个标准电压码，但由于0.0080V标准电压码已被保留，与其相对应的寄存双稳电路已经翻转置“1”。前已说过，在此情况下，连锁电路将起作用，使与0.0040V及0.0020V两个标准电压码相对应的两个数码寄存电路再也不能翻转置“1”，故0.0040V及0.0020V两个标准电压码不可能给出。所以这两步实际上也成了两步空拍，标准电压码的累加总和仍然是1.0180V。

第十五步 0.0010V标准电压码被加上，标准电压码总和为：

$$1.0180V + 0.0010V = 1.0190V > 1.0186V$$

判别门为逻辑否定，0.0010V标准电压码被舍弃。

第十六步 0.0008V标准电压码被加上，标准电压码总和为：

$$1.0180V + 0.0008V = 1.0188V > 1.0186V$$

判别门为逻辑否定，0.0008V标准电压码亦被舍弃。

第十七步 0.0004V标准电压码被加上，标准电压码总和为：

$$1.0180V + 0.0004V = 1.0184V < 1.0186V$$

判别门为逻辑肯定，0.0004V标准电压码被保留。此时标准电压码的累加总和为1.0184V。

第十八步 0.0002V标准电压码被加上，其累加总和为：

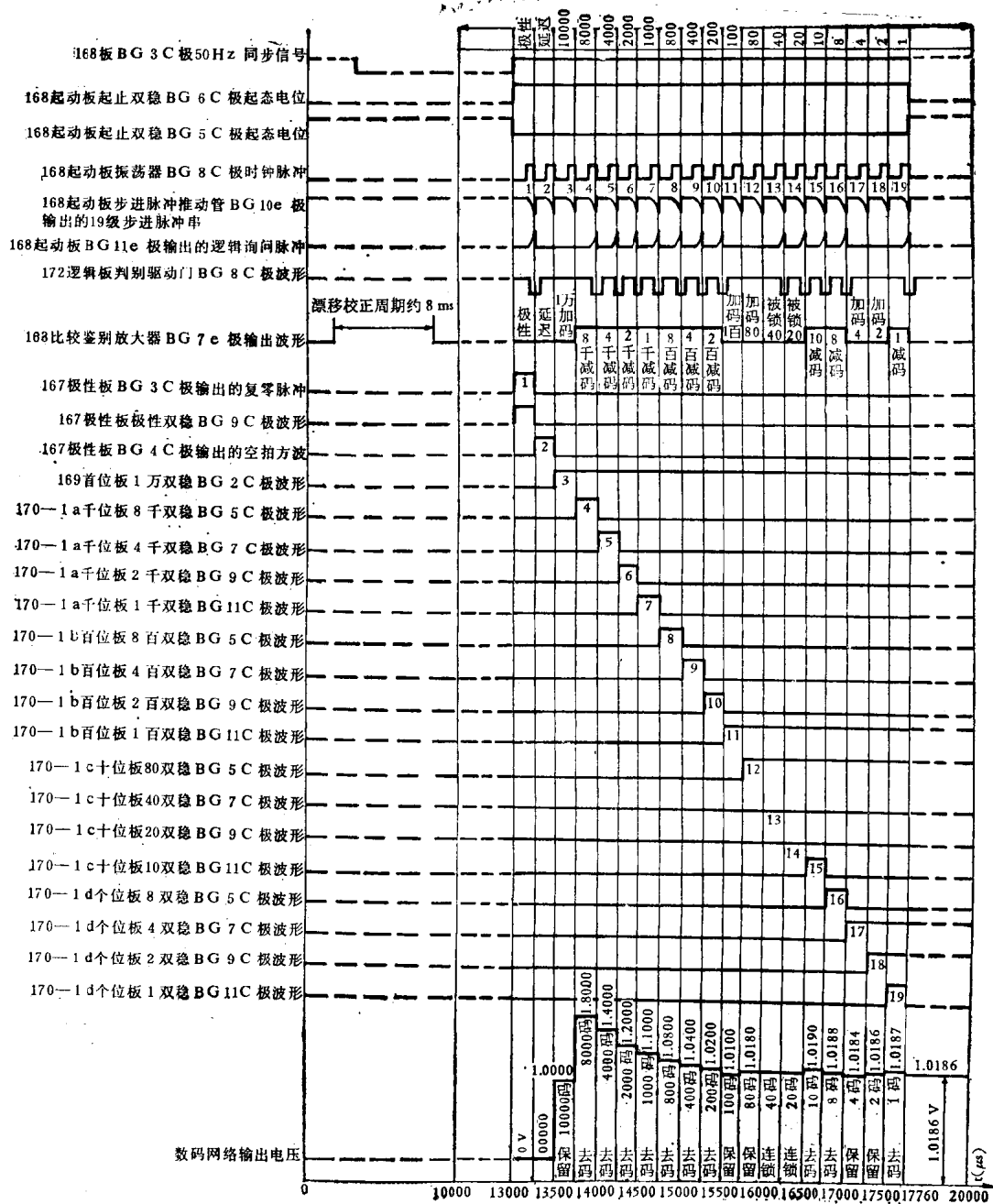


图 2-1-3 当输入信号为+1.0186V时各逻辑部分的波形图