

电子电压表

王基正 韩叶豹 编著

33.22

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

这是一本关于电子电压表的普及读物。它从电子电压表的历史发展和分类讲起,介绍了电子电压表的工作原理、使用方法和维护常识。在电子电压表的工作原理方面,从电子管电压表到最新的数字电压表都作了介绍,还举例介绍了电子电压表在各方面的应用。

本书由浅入深,结合实际,通俗易懂,可供广大青年学生及无线电爱好者阅读和参考。

电 子 电 压 表

王基正 韩叶豹 编著

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本: 787×1092 1/32 1983年11月 第 一 版

印张: 6 4/32 页数: 98 1983年11月 河北第一次印刷

字数: 137千字 插页: 1 印数: 1—40,000 册

统一书号: 15045·总2772—无6253

定 价: 0.64 元

前 言

电子测量技术是无线电电子学的一个重要分支，它对科学技术的发展起着重大的推动作用，同时它又是科学技术现代化的一个重要标志。

近年来，许多科技工作者、科普作者注意到无线电电子学在国民经济和“四化”建设中的重要作用，编写出版了不少科普读物，对传播和普及无线电电子学知识起到积极的作用。但是，关于电子测量技术中常用的各种仪器，特别是电子电压表方面的普及读物还不多。本书把电子测量技术中用得最广的各种电子电压表，系统、通俗地介绍给读者，以满足广大无线电爱好者学习上的需要。

把复杂难懂的科学原理用生动活泼、饶有兴味的形式介绍给读者，使作品在科学性、知识性和趣味性三者结合得更好，从而取得最佳的效果，是科普作者的共同心愿。我们奉献给读者的这本小册子就是在这方面的一个尝试。尽管酝酿多年、修改多次，今天才与读者见面，但因水平有限，能否达到所希望的目的，还有待于广大读者提出宝贵意见，并渴望专家学者不吝指教。

作 者

目 录

一、电子电压表是干什么用的？	(1)
1.1 从电压的测量谈起	(1)
1.2 万能表并不“万能”	(2)
1.3 应运而生的电子电压表	(6)
1.4 用什么来衡量电子电压表的质量	(7)
1.5 电子电压表有哪几种？	(11)
二、先谈谈交流放大式电子电压表	(13)
2.1 最原始的电子电压表——二极管检波式电压表	(13)
2.2 请放大器来帮忙	(17)
2.3 如果被测电压很高怎么办？	(34)
2.4 交流放大式电子电压表	(41)
2.5 频率能到多高？	(52)
三、再谈谈直流放大式电子电压表	(54)
3.1 回到讨论问题的起点	(54)
3.2 直流是可以放大的	(55)
3.3 把分压器放到哪儿？	(65)
3.4 一支特殊的表笔——探头	(70)
3.5 关键在于探头的质量	(76)
3.6 也来看看实际电路	(82)
3.7 一种特殊的直流放大式电压表	(85)
四、各种用途的电子电压表	(92)

4.1	直流电子电压表	(92)
4.2	电子复用表	(93)
4.3	真有效值电压表	(96)
4.4	电平表	(101)
4.5	对数式电压表	(103)
4.6	选频电压表	(105)
4.7	脉冲电压表	(107)
4.8	取样电压表	(110)
4.9	矢量电压表	(115)
五、	什么是数字电压表	(119)
5.1	一种新型电子电压表的诞生	(119)
5.2	数字电压表有哪些优点	(123)
5.3	布尔代数和数字逻辑电路	(131)
5.4	斜波型直流数字电压表	(136)
5.5	比较型数字电压表	(140)
5.6	双积分型数字电压表	(144)
5.7	从直流数字电压表到数字万能表	(149)
六、	怎样使用和维护	(153)
6.1	你会使用电子电压表吗?	(153)
6.2	你了解被测电压吗?	(157)
6.3	神通广大的电子电压表	(163)
6.4	有了毛病怎么办?	(169)
七、	电子电压表在不断前进	(176)
7.1	历史的回顾	(176)
7.2	模拟电子电压表急起直追	(178)
7.3	数字电压表发展更快	(181)

一、电子电压表是干什么用的？

1.1 从电压的测量谈起

当你亲手装成一架收音机之后，一定是迫切地希望能听到它的声音。但是，如何知道这架刚刚诞生的收音机能正常地工作呢？

当你正在倾听广播或欣赏音乐的时候，突然收音机不响了。这时候，你又是多么焦急地想把它修好啊。但是怎样才能很快地找到它的毛病，使它恢复“健康”呢？

在制造、调整和修理各种电子设备的过程中，用什么方法能迅速地对电路进行“诊断”，确定它们的工作是不是正常呢？

最简单最方便的方法就是测量电路里有关各点的电压。例如要想知道放大器的工作是否正常，用直流电压表量一下管子各极的电压，就可以进行分析和作出大致的判断。又如在检查电子设备的电源部分时，要想判断电源变压器的好坏，用交流电压表量它的初、次级电压就行了。

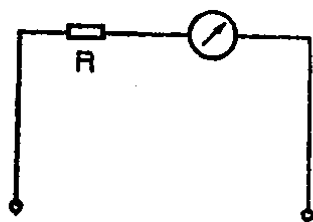


图 1.1 最简单的电压表

最简单的电压表是由一个表头和一个电阻串联而成，见图 1.1。测试时电表与被测电路并联，被测电压越大，流过表头

的电流越大，指针偏转角越大。由于电压表的电阻是一定的，根据欧姆定律 $I = U / R$ ， I 与 U 成正比，所以只要适当刻度，就可以用流过表头动圈的电流来指示电压值。

电压表除了测量电压的数值外，还能间接地测量若干其它量值。例如测量变压器的初级和次级电压，就可以知道它的圈数比；把放大器的输入电压和输出电压量出来，就可以求出放大器的放大倍数或增益。此外，如电路中的电流或功率的大小，电阻、电容、电感等元件的数值，以及失真系数、调幅系数、 Q 值等等，都能用电压表间接地测量出来。

电压表竟然有这么多的用途！

1.2 万能表并不“万能”

我们经常使用的万用电表（也叫万能表）就是一个有多种

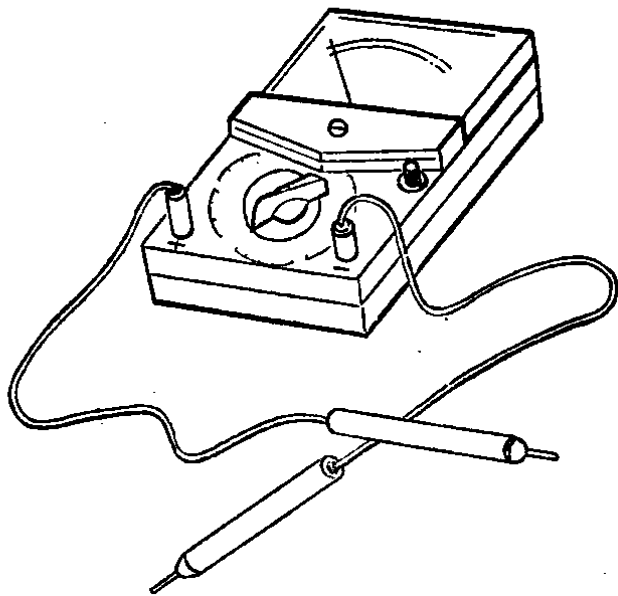


图 1.2 一只常用的万用表

用途的电工仪表，见图 1.2。它是用一个动圈式电流表加上开关和电阻等元件组成的。可以用它测量不同数值的交直流电压、电流和电阻。

这种动圈式电流表已有一百多年的历史了，现在习惯上被人们

称为古典的指针式电表。用动圈式电流表制成的万用表在电工学的发展上起过很大的作用，而且因为它简单方便，所以直到现在人们还都乐于使用它。

随着无线电电子学的发展，需要测量的电压种类越来越多，要求越来越高。这种古典的万用表能完成这些繁重的测量任务吗？

先拿直流电压来说，万用表能量的电压最低大概是零点几伏，如果遇到0.01伏以下的电压，万用表就量不出来了。

再拿交流电压来讲，一般万用表只能测量频率为几十赫的交流电，质量较高的万用表可以测量频率为几十千赫的交流电压。如果把这个频率范围和无线电电子学中现在使用的整个频率范围（见表1.1）去比较，万用表的本领简直是“微不足道”的。

表 1.1 各种电波的频率范围

	频 率 范 围	
直 流	0	
超 低 频	0.0001~10赫	
低 频	20赫以下	低 音 频
	20赫~20千赫	音 频
	20千赫~300千赫	超 音 频
中 频	300千赫~3兆赫	中 波
高 频	3兆赫~30兆赫	短 波
超 高 频	30兆赫~300兆赫	超 短 波
	300兆赫~3000兆赫	分 米 波
	3千兆赫~30千兆赫	厘 米 波
	30千兆赫~300千兆赫	毫 米 波

除了频率以外，交流电压的波形也是大有讲究的。万用表一般只能测量常见的正弦波电压（图1.3(a)）。但实际工作

中，除了正弦波以外，还可能遇到各种不同波形的电压，有方波、三角波、锯齿波、脉冲波，甚至是毫无规律的杂散波（图 1.3）。面对这些波形不同的交流电压的测量任务，古典的万

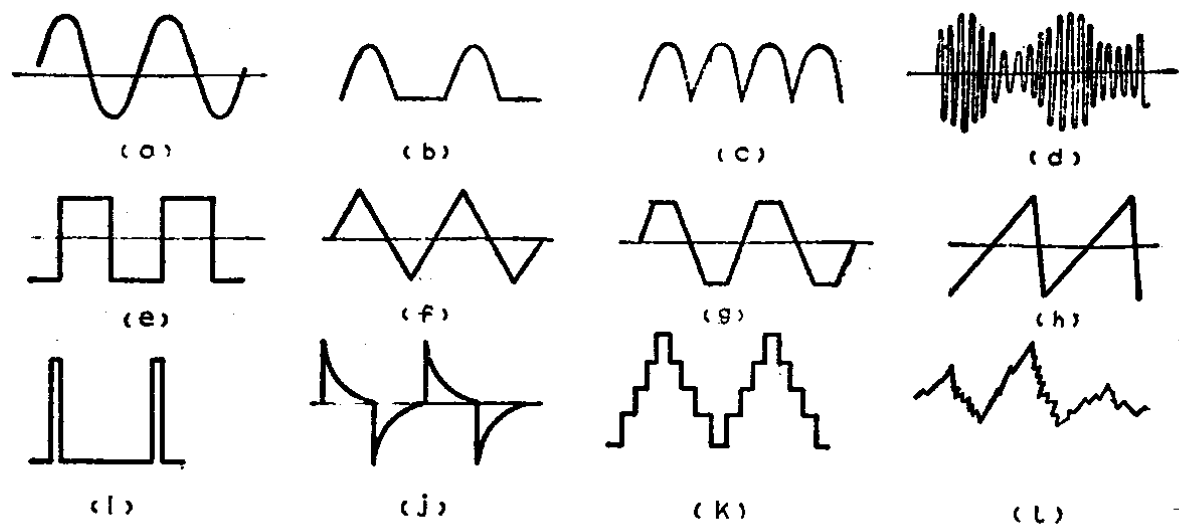


图 1.3 各种不同波形的交流电压
(a)正弦波 (b)正弦半波整流 (c)正弦全波整流 (d)调幅波 (e)方波 (f)三角波 (g)梯形波 (h)锯齿波 (i)矩形脉冲 (j)尖峰波 (k)阶梯脉冲 (l)杂波

用表就难以胜任了。

我们知道，正弦交流电压是一个幅度和方向都在不断变化

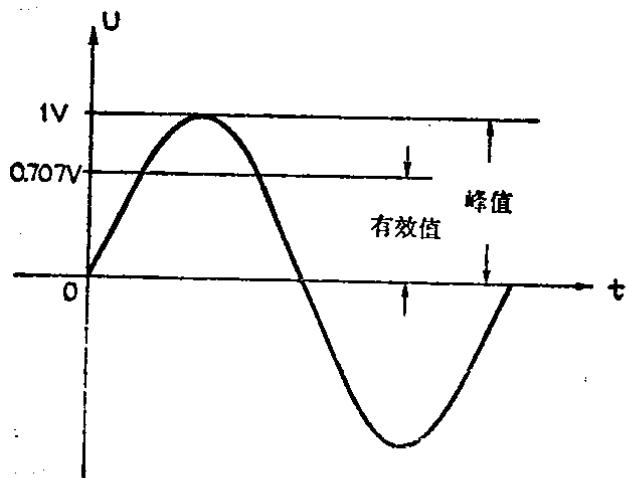


图 1.4 正弦波电压的峰值和有效值

着的电压，它随时间变化的规律是正弦函数。万用表在测量交流正弦电压时指示出的数值是它的有效值。对于正弦波来讲，有效值电压是峰值电压的0.707倍(图 1.4)。但对其它波形来讲，有效值和峰值之

间却不是这个关系。因此，用万用表去量其它波形时就不可能

得到正确的结果。

最后，从万用表测量直流电压时的工作质量来看，也是不能令人满意的。

图1.5(a)中有两个电阻 R_1 和 R_2 。如果要想知道 R_2 上的电压有多大，只要把万用表按图中那样把表笔接到A、B两点上就可以量出 R_2 上的电压 U_2 。但是，因为电压表实际上是一个电流表和一个电阻串联成的〔图1.5(b)〕，所以万用表并联

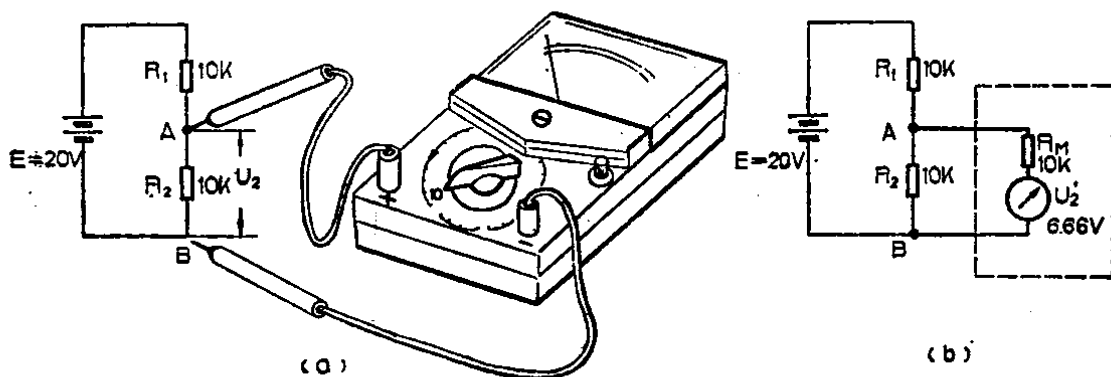


图 1.5 用万用表测量电压
(a)测量的方法(b)等效电路

上去后，A、B两端的总电阻值就要减小。假定万用表的内阻 R_M 是10千欧，A、B两端的电阻值就成了5千欧。于是A、B两端的电压 U_2 也变成了：

$$U_2' = E \cdot \frac{0.5R_2}{R_1 + 0.5R_2} = 20 \cdot \frac{5^k}{10^k + 5^k} = 6.66 \text{ 伏}$$

由于万用表的内阻造成的测量误差等于：

$$\frac{U_2' - U_2}{U_2} = \frac{6.66 - 10}{10} = -33.3\%$$

测量的误差竟然这样大！更严重的是：万用表的并联作用改变了电路的工作状态。因此这种测量不但没能把电路的真实情况反映出来，反而会影响电路的正常工作。

产生这个误差的原因是万用表的内阻太小。如果把万用表内阻增大到20倍，那么被电压表分流的电流就大大减小。这时量得的电压就变成9.75伏，误差减小到只有2.5%。可见提高万用表工作质量的关键之一在于加大它的内阻。

在电子管电路中，放大器的栅漏电阻通常是1兆欧上下，而万用表在10伏档上的内阻一般只有几十千欧或几百千欧。所以不能用万用表跨接到电子管的栅极上去量它的栅偏压。

通过分析可以看到，古典式的万能表实际上并不“万能”，就拿电压测量这一种用途来说就已经远远不能满足要求。

1.3 应运而生的电子电压表

十九世纪中叶开始，人类就在电信技术方面进行了探索。1906年，真空三极管的出现大大推动了电信的发展。第一次世界大战一结束，无线电广播和通信就迅速地得到发展，出现了大量的广播电台和通信电台，使用的频率越来越高，传输的距离也越来越远。当时对电子测量提出了新的任务：研制可以测量很高频率而又很微弱的信号电压、同时又不影响电子管电路工作的电压表。显然，原来那种用动圈式电表制成的古典的万用表已不能完成这项任务了。

解决这个问题的出路是研制新型的电子测量仪表。1915年，美国的海逊第一次用电子管和动圈电流表制成了一个电子管电压表。这是第一个用有源电子器件做成的电子电压表。开始它只是在实验室中使用，但它的优良性能很快引起人们的重视，研制的人越来越多。到三十年代之后，市场上就已经有很多不同类型、不同性能的电子管电压表供人们使用了。

随着电子技术的发展，电子电压表也在不断地更新换代。

五十年代出现了晶体管电压表，六十年代末又出现了集成电路化的电子电压表。它们的体积大大缩小，性能提高很多。由于它们都是用放大器放大和用动圈式电表作指示，所以被称为模拟式电子电压表。1952年，出现了一种新型的数字电压表，它是利用脉冲数字技术制成的，在工作原理上和传统的模拟电子电压表完全不同，而性能却超过了模拟电子电压表。

经过几十年的努力，现在已经有各式各样的电子电压表，可以满足电压测量方面的各种要求。而且工作可靠、性能优良，是古典的万用表根本无法相比的。

那么，电子电压表究竟在哪些方面比万用表显得更优越和更先进呢？

1.4 用什么来衡量电子 电压表的质量

衡量任何事物的好与坏、优与劣，总得有个标准。而且这个标准最好是用数字来表示，以便从量上进行比较。在电子测量技术中，把这个标准叫做技术指标。电子电压表的技术指标主要的有以下几项。

1. 灵敏度

在实际工作中，有时需要测量很微弱的信号电压，例如几毫伏、几微伏，甚至更低的数值。从测量低电压这个角度上讲，我们希望一个电压表所能测量的电压越低越好，电压表所能测量的电压越低，说明它越灵敏。而各种电压表测量低电压的本领是不同的，因此就应该有一个能够说明电压表灵敏程度

的技术指标。

电压表的灵敏程度，可以用不同的方法表示，为了实用上的方便，我们使用灵敏度电压这个数值来表示它。灵敏度电压就是电压表所能测量的最低电压的数值。显然，这个数值越小，电压表的灵敏程度就越高。例如一个电压表的灵敏度电压为1毫伏，说明这个电压表最低只能测到1毫伏，如果被测电压再低，这个电压表就不能胜任了。

象万用表这种普通电压表，灵敏度电压大都只有零点几伏，用来测量交流电压的电子电压表，灵敏度电压却可以达到零点几毫伏，而有些专门用来测量微弱直流电压的电子电压表，却能测量比微伏还要低的电压。可见，电子电压表比起普通电压表来要灵敏千百万倍哩！

2. 量程范围

电压表不但应该能测量低的电压，还应该能测量高电压的本领。通常把电压表能测量的最低电压到最高电压之间的范围叫做电压量程范围。

如果把灵敏度电压和量程范围这两个指标联系起来看，就不难发现，一个灵敏程度高的电压表，一般来讲它的量程范围就可以做得较宽。例如一个灵敏度电压是1毫伏的电子电压表，只要加上适当的分压器，就可以用来测量几百伏的电压。它的电压量程范围就是从1毫伏到几百伏。

3. 频率范围

无线电技术中，常常需要测量各种不同频率的交流电压。前面已经说过，普通的交流电压表只能量几十赫到几十千赫的音频电压。电子电压表却可以测量比音频频率更高的高频电

压，甚至能够测量1000兆赫以上的超高频电压。而另一些特殊设计的电子电压表又可以测量比音频频率更低的超低频电压。

4. 输入阻抗

用万用表等古典电压表测量电压时，必须从被测电路中吸取一些能量，才能使电表的指针偏转，指出被测电压的数值。从电路中吸取的能量多了，就要影响被测电路的工作。为了说明各种电压表对被测电路影响的程度，我们就用了“输入电阻”这样一个指标。所谓电压表的输入电阻，就是在测量时，并联到被测电路上的等效电阻。在图1.5中万用表的内阻 R_M 就是它的输入电阻。输入电阻越大，从被测电路吸取能量越小，对被测电路的影响就越小。

在模拟式电子电压表中，电表指针的偏转并不依靠被测电路供给电能，而是靠内部的放大器供给能量。因此这类电压表的输入电阻比古典的电压表要高得多，通常为几百千欧或几兆欧，有的甚至达到几十兆欧。而数字电压表由于输入电路中采取了一些新的措施，它的输入电阻更高，一般情况下都在十兆欧上下，在测直流电压时最高可达几千兆欧！这正是电子电压表的又一个突出优点。

电子电压表在测量交流电压时，还必须考虑它的输入电容的影响，输入电容越大，测量高频电压的能力就越差。因此在交流电压表里，常常把输入电阻和输入电容这两者的影响综合起来，用一个叫做输入阻抗的指标去比较它们的质量。

5. 精度

对测量仪表来讲，测量的结果是否准确，当然是很重要的。通常我们用精度或误差来说明仪表的准确程度，仪表的误

差越小，说明测量的结果越接近实际的数值，也就是仪表的精度越高。

电压表的技术指标中常用的有基本误差和频率附加误差两项。模拟式电子电压表因为动圈式电流表的精度最高的是0.1级，即误差在 $\pm 0.1\%$ 范围内，一般的是1.0级或1.5级，所以模拟式电子电压表的基本误差通常都是百分之几，最好的可以达到百分之一。自从数字电压表诞生之后，在精度上就大大突破了。1952年的第一台数字电压表基本误差就已达到0.1%，到七十年代末，普通的数字电压表精度就在0.01%上下，而专门用来测量直流的高精度数字电压表，误差已经小到只有0.0001%，即百万分之一的程度。

电压表在测量交流电压时，还要附加上由于频率特性带来的误差，称为频率附加误差。一般在频率范围的中段频率附加误差比较小，模拟式电子电压表大概是百分之一、二，数字电压表则小到只有千分之几或更小，而在频率范围的低频和高频段，这种附加误差要比中段大些，因各种电路类型不同而各不相同。

除了这两项误差外，还有其它的一些附加误差，例如温度附加误差等等，这在各种产品的说明书中都会一一给出。

用上面这五个主要指标衡量的结果，可以看到电子电压表有着突出的优点。这就是：灵敏度、输入阻抗和精度高，量程范围和频率范围宽。

除了这五大指标，还有如稳定性、承受过载电压的能力、对不同波形的响应能力等。对数字电压表来讲，还有显示的位数、线性度、测量的速度、工作方式的变换以及抑制干扰的能力等。在挑选和使用电压表的过程中，都将会接触到这些方面的问题。

1.5 电子电压表有哪几种？

随着电子测量技术的不断进步，电子电压表从第一个最原始的电子管电压表起，一代一代地改进和发展到今天，已经形成一个庞大的家族。它们当中既有嫡系，也有旁系，既有分工，又有合作，可谓一派兴旺景象。那么，它们主要有哪些种类呢？让我们来看看它们的家谱。

电子电压表这个大家族，虽然成员众多，但总的来说可分成两大分支。一个分支是模拟式电子电压表，这类电压表的特点是在放大和检波的基础上，用动圈式电表作读数指示的；另一个分支是数字式电压表，这类电压表跳出了传统的用电表指示的框框，使用脉冲数字技术，把被测电压先数字化，然后通过计数、译码等过程用数码管、发光二极管等把测量的结果直接用数字显示出来。

如果从电子电压表的分工来看，它们又可以分为直流和交流两大类。有时为了节省设备，扩大仪器的功能范围，也有一些电子电压表既可测量直流电压，又可测量交流电压，甚至还可测量电流和电阻，这就是通常所说的“复用电子电压表”。

在交流电子电压表中，如果按工作频段来分，它们又可分为低频、高频、宽频以及超高频电子电压表。

因为模拟电子电压表在测量交流电压时，需要经过检波之后才能在电表上指出读数来，而在不同的电压表中所使用的检波方式却是各种各样的，所以模拟电子电压表又可按不同的检波方式分为平均值检波、峰值检波以及平方律检波等。以上这些，都可以算是电子电压表的嫡系正宗。

除此之外，还有许多仪表，如电子兆欧计、失真度测试

仪、调幅度测试仪、谐波分析仪、 Q 表等等，从工作原理上讲，它们都与电子电压表有着不可割断的“血缘”关系。因此可以说它们都是电子电压表的旁系亲属。这样一来，电子电压表的家族就更加庞大了。

下面，我们就要把这个大家族中的主要成员一个个地介绍给大家。为了把问题的来龙去脉说清楚，还是让我们从最简单、最原始的电子管电压表谈起。