

关于“几位半”万用表的半位含义及其它万 用表的基本原理性问题

—— 万用表的初学者汪进进和钱大师的对话

文档编号：HWTT0008



鼎阳硬件设计与测试智库
群策群力，连接所有硬件人！



【鼎阳硬件智库原创 | 测试测量】 关于“几位半”万用表的半位含义及其它万用表的基本原理性问题

—— 万用表的初学者汪进进和钱大师的对话

进进按语：

我问过很多人,万用表的半位是怎么理解的?第一次问这个问题是2004年刚开始卖示波器的时候,我问一个以万用表为最骄傲产品的公司的销售人员。直到我加入鼎阳后问钱大师才算搞明白这个问题了。可以看出我的天资是何等的愚笨哦!这过程中我搜索了一些万用表的资料,但是您会发现搜索很多基础性的东西,获得的资料很多,但很多资料都会令人失望。好的资料收藏在每个大师的硬件里。钱大师给我的资料看起来就很过瘾的,但之前我就是没有搜索到他的这些资料。我在学习其它很多新知识的时候也有过这样的体验。这也是我们在鼎阳硬件智库中开设“干货下载”板块的初衷。我们期望持续真诚的呼吁能唤起人们分享的热诚,愿意将私藏的干货共享到鼎阳硬件智库的“公共大硬盘”上。

就是由己及人的这么一点经验产生的纯粹的想法!

欢迎您的原始创作,也欢迎推荐您收藏的干货文档。点击这篇微信最下方的“[阅读原文](#)”查看我们的投稿征文启事,了解相关细节。

汪进进:

万用表的几位半的半位原理上怎么理解?哪篇文章对这个有很好的解释?之前问过一些人,解释得我还是很迷糊,只能请教您这样大师级人物了:-) 还望不吝赐教!

钱大师:





关于万用表位数，尤其是半位的说法，下面是某培训文档里的一个页面，看一下就明白了。简言之，读数的最高位不能达到 0~9 满刻度的，最高位就只能算一个分数位，如果统称的话，都可以称半位，如果具体一点，有 1/2 位，2/3 位，4/5 位，。。。8/9 位。譬如说图中的 4 1/2 位的 F87V, 4 4/5 位的 F187, F189, 都可以统称为 4 位半，但其实精度还是有区分的。更精度的描述万用表位数的其实还有一个 count 数的表述，就是下面图中的读数一栏的指标。譬如 F187 的 count 数是 50000，F87V 的 count 数是 20000. 我们的万用表 count 数是 240000. 即从 000000~239999。

另外，万用表的位数是万用表的一个标杆性的指标，如同示波器带宽。是否是 5 位半或 6 位半的万用表，并不是看它显示的是多少位，而是看实际的有效位能否做到，它是综合了万用表实现中的 ADC 有效分辨率，机器的本体噪声，线性度，各种温漂，各种校准方法，甚至溯源的基准等等的一个综合性的指标。一般直观判断最简单的办法就是当短路输入时，面板显示必须只能是最后一位允许跳动。如果最后有两位跳动，那显然最后一位即使显示也没有什么意义了。

从应用来讲，万用表测量属于低频、精密测量，所测信号的频率范围一般比示波器低许多，主要是直流测量，交流测量频率范围一般 1Mhz 以下。但精确度比示波器高出几个数量级，从核心器件讲，一般台式万用表采用的都是 24 位的 ADC, 比示波器位数高出很多，但采样速率低很多。

万用表显示计数、显示位数：

F87V：四位半的万用表，可显示的字数达20000个，满量程显示读数为19999。



F189：交流电压显示屏

计数显示：万用表的显示位数范围。

位数显示：传统叫法，能显示从0-9中所有数字的位数称 整数位，其他统称半位。

F189，满量程显示读数为49999，即四位半的万用表。

型号	F15B/17B	F111	F112	F175	F177	F179	F87V	F187	F189
读数	1000	6000	6000	6000	6000	6000	20000	50000	50000
最大显示读数	999	5999	5999	5999	5999	5999	19999	49999	49999
位数	3位	3 _{5/6} 位	3 _{5/6} 位	3 _{5/6} 位	3 _{5/6} 位	3 _{5/6} 位	4位半	4 _{4/5} 位	4 _{4/5} 位

显示位数影响测量结果的分辨力

例：F170显示位数的优势

DMM测量电网电压时，普通3_{1/2}位数字万用表的最高位是0或1，对于220V或 380V电压测量，只能用三位显示，分辨率为1V。

用3_{5/6}位的数字万用表来测量电网电压，最高位可以显示0~5，利用四位显示，分辨率为0.1V。此时的测量分辨力与4_{1/2}位的F87V相同。

汪进进：

抱歉，我天资愚笨，喜欢问一些低级问题哦。最近在开始学习万用表，问题好多。

1，你谈到的 count 数和 ADC 位数之间是什么样的关联？

2，ADC 位数是 24 位，不管是几位半的万用表吗？ ADC 的采样率一般具体是多少？

3，0.0000004%的精度，这个溯源过程是很恐怖的？ 有没有校准方面的基本知识科普一下？

4，有一位是不确定的位，按道理应是小数点后面的最后一位，就像一个毫米刻度尺，不确定的应该是小数点的最后一位。 为什么是最高的那一位整数位不确定，是半位呢？ 这和 ADC 的 LSB 的概念是怎么关联的？

5，怎么计算出是 1/2 位还是 4/5 位？

钱大师：





呵呵，你的问题一点也不简单啊，看似‘低级’，其实都是问题的要害和本质，这个理解透了，产品怎么做出来就不难理解了。我试着回答下，看能否说清楚。（见蓝色回复）

1，你谈到的 count 数和 ADC 位数之间是什么样的关联？

count 数是一个整机指标，譬如我们的 5 位半，count 是 240000，基本上就是一个有效分辨率的意思，就是说对于一个典型的电压档位，譬如说 2V 档位，考虑超量程，实际上该档位可测到 2.39999V，就是每个 count 对应 0.00001V，即 10uV，也就是说 count 数就是一个满量程可分为多少份，同样是 5 位半，如果是 120000 count，量程仍然是 0~2.4V，显然每一份就是 20uV，也就是说有效分辨率只能达到 20uV，同样是 5 位半，这两种万用表的规格就有具体差别，所以说 count 比位数更精确。

ADC 的位数是指万用表核心的器件 ADC 的有效位宽，但 ADC 只是产品信号链路中的一个环节，整个信号链还包括前级的放大衰减，多路开关等调理环节，这些环节都会引入噪声，从而使整个产品测量链路的整体有效位数大打折扣。譬如 5 位半的万用表其实对应的有效二进制位应该 18, 9 位就够了，但即使 24 位的 ADC，如果其他部分的噪声很大，实际上也未必能做到 5 位半的效果。但显然用一般示波器 8 位 ADC 去做，那从理论上就不可能做成 5 位半的万用表了。这个就是整体和部分的关系，系统指标和器件指标的关系。

2，ADC 位数是 24 位，不管是几位半的万用表吗？ ADC 的采样率具体是多少？

这个我表述有问题，我主要针对 5 位半或 6 位半的台式表而言的，不包括那些手持万用表，因为一般手持的也就是 3 位半或最多 4 位半，用个 14 位或 16 位的一般就足够了，而且一般不是分立器件方案，一个 soc 搞定的。一般万用表的 ADC 采用的是 sigma-delta 型的 ADC，这种 ADC 和一般 SAR 型高速 ADC 不一样，采用的是所谓过采样的原理，采样速率和数据产生速率相差很大，这种 ADC 的采样率我们一般指数据速率，一般最快也就多少 K 而已。具体譬如说 AD7190，在 19 位有效位时速率是 4.8Khz，24 位时最多 7~8hz。

3，0.0000004%的精度，这个溯源过程是很恐怖的？ 有没有校准方面的基本知识科普一下？

这个精度太高了，可能没有这个%吧，7 位半 8 位半的精度了。目前业界最高的应该就 8 位半万用表，一般也就那些计量部门或实验室用了，那个溯源可能就是用国家基准了，就一般我们的 5, 6 位的产品而言，用个 F 公司的校准器就可以了，因为它的东西理论上是更高标准校检过的。

4，有一位是不确定的位，按道理应该是小数点后面的最后一位，就像一个毫米刻度尺，不确定的应该是小数点的最后一位。为什么是最高的那一位整数位不确定，是半位呢？ 这和 ADC 的 LSB 的概念是怎么关联的？

这个不是说最高一位不确定，可以理解成测量范围扩大了，1000count 的万用表，如果分辨率 1mV，则最多能测到 0.999V，而 2000count 的，就能测到 1.999v. ADC 的 LSB 相当于器件的有效分辨率，而 count 或有效位是整体指标，正如 1 所描述。

5，怎么计算出是 1/2 位还是 4/5 位？

这个就是要指明 count 数了，譬如 60000count 就是 4 5/6 位，20000count 就是 4 1/2 位。

汪进进：

我们采用 24 位的 ADC，理论上 count 可以达到 16777216，但实际上可能因为放大衰减，多路开关等因素引入的噪声，使得最终的 ENOB 只有 17, 18 位，所以 count 是 240000。可以这样理解吗？

钱大师：

是这个意思。





汪进进：

另外，我们鼎阳 5 位半的台式万用表 SDM3055 有慢速、中速和快速模式，这些不同模式分别在算法上是什么区别啊？只是平均算法的采样次数不一样，还是有其它什么讲究？这种快和慢的模式，在每家万用表上面是统一定义的吗？

钱大师：

三种模式下，主要是 ADC 的配置不同，体现在采样速率，建立时间，滤波器选择等，结果是 ADC 有效位数不同。快慢模式的具体读数速率，每家定义没有完全统一，但一般定义是慢就是几次，此时精度和有效位最高，中速就是几十次，精度和有效位稍次，高速就是机器所能到的最高读数速率，几百到数十 k，但有效位最低，譬如 6 位半的机器只有 4 位半或 5 位半了。

鼎阳硬件设计与测试智库

