

## 真有效值（True RMS）——唯一的真实测量值

许多商业和工业的装置都为断路器的频繁误跳闸所烦扰。这些跳闸看上去经常像是随机的、令人费解的。其实这里面是有其原因可究。造成这种现象的原因一般来说有两个方面。第一个可能原因是一些负载，特别是个人电脑和其它电子设备开机时所产生的冲击电流。关于这种原因，将会在本指南的后面章节里具体讨论。另一个可能原因是回路里的真实电流的测量值低于真实值——换言之，是实际电流过高而引起的。

在现代化装置中这种电流测量值偏低是个高发现象。既然当前的数字测量仪器如此精确可靠，为什么又会发生这种现象哪？答案就是许多测量仪都不适合于测量失真（畸变）电流，而现在绝大多数的电流都是失真的。

电流失真这是由于非线性负荷的谐波电流造成的，特别是个人电脑、配有电子镇流器的荧光灯和变频驱动装置等电子设备为代表。谐波的产生机理及其对电气系统的影响将在指南的 3.1 节进行具体阐述。图 3 所示为个人电脑接入后的典型电流波形图。很明显这不是一个纯正弦波，所以一般适用于正弦波的测量工具和计算方法都不适用。这意味着，在对电力系统进行故障检修或者性能测试分析时，有必要采用能够处理非正弦电流和电压的正确测量工具。



图 1 一个电流两种读数，你相信哪个？图中的回路为一个有畸变电流的非线性负载供电。真有效值卡钳式电流表（左）上的读数是正确的，而平均值卡钳式电

流表的读数（右）比正确值要低 32%。

图 1 所示为同一回路上的两种卡钳式电流表的读数差别。两个测量仪都运行正常，且按照生产厂家的要求进行了校准，主要的差别就在于测量方法的不同。

左边的电流表是真有效值测量仪，右边的是按有效值校准的平均值测量仪。在很好的理解它们差异所在之前必须首先了解有效值的确切含义。

## 什么是有效值（方均根值）？

交流电流的有效值（RMS）等于在同一电阻性负载回路中，与其产生等热量的直流电流的大小。使用交流电时，电阻产生的热量与一个周波内的平均电流的平方成正比。换言之，产生的热量和电流平方的平均值成正比，也就是说电流值和这个平方的平均值开方后的值也就是有效值成正比。（由于平方后总是正数，所以不用考虑极性问题）

对于如图 2 所示的纯正弦波，有效值是峰值的 0.707 倍（或者说峰值是有效值的  $\sqrt{2}$  即 1.414 倍）。换句话说，有效值为 1 安培的纯正弦波电流的峰值电流为 1.414 安培。如果波形值仅仅被简单的平均（对半个负波形取反），平均值就是峰值的 0.636 倍，或是有效值的 0.9 倍。图 2 所示为这两个重要的比例关系。

波顶因数=峰值/有效值=1.414

波形因数=有效值/平均值=1.111

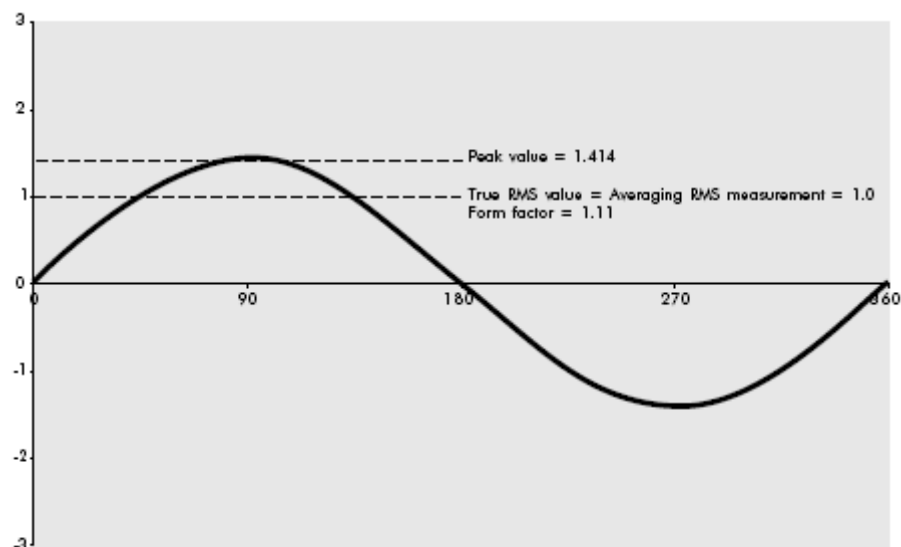
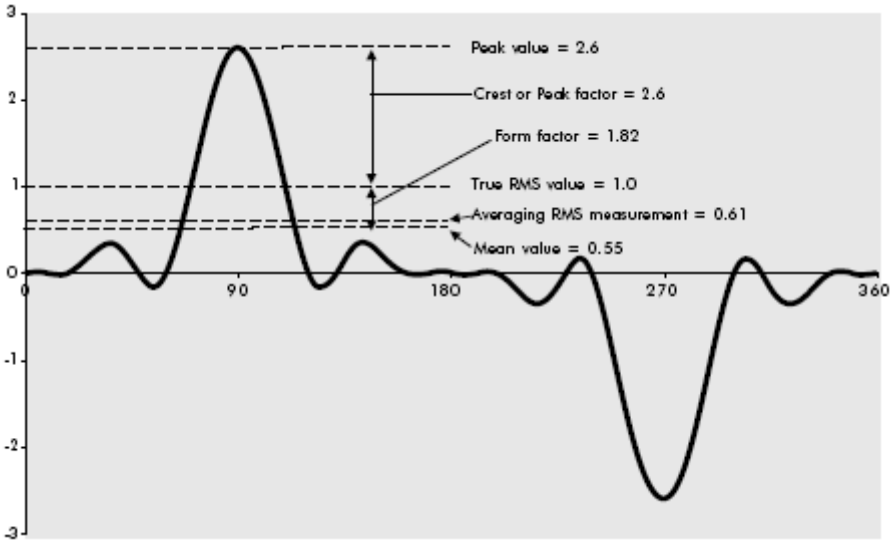


图 2 纯正弦波

在测量一个纯正弦波（仅限于纯正弦波）时，简单的测出平均值（0.636 倍峰值），再乘以波形因数 1.111（即 0.707 倍峰值）所得到的数值是完全正确的，这个数值也被称为有效值。这种方法被广泛用于所有的模拟测量仪（此时平均值是靠线圈运动的惯性和阻尼作用来实现的）和所有旧式、仪表和大多数电流表数字万用表上。这种技术被称为“平均读数，按有效值校准”的测量方法。

问题是这种测量方法只适用于纯正弦波，而在现实的电气装置中根本不存在纯正弦波。图 3 所示的波形图是一个接入个人电脑后所产生的典型电流波形图。方均根值仍然是 1 安培，但是峰值要明显高于纯正弦波时的峰值，为 2.6 安培。同时平均值则小得多，为 0.55 安培。



Peak value	峰值
Crest or Peak factor	峰顶因数
Form factor	波形因数
True RMS value	真有效值
Averaging RMS measurement	平均有效值测量
Mean value	平均值

图 3 个人计算机的典型电流波形图

如果这个波形用“平均读数，按有效值校准”的测量仪进行测量，它的读数为 0.61 安培，比真有效值（1 安培）少了将近 40%。表 1 给出了两种不同测量仪对不同波形的测量值的几个示例。




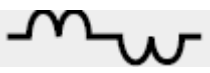
真有效值仪表工作时，先采集输入电流的瞬时值平方，按时间取平均值，最后显示这个平均值的平方根值。如果能够理想地实施这种测量方法，无论是怎样的波形都能达到绝对精确。当然在现实中理想的测量是不可能实现的，有两个制约因素要考虑在内：频率响应和峰顶因数。

对于电力系统，一般测量到 50 次谐波就足够了，也就是说最高频率测量到 2500 赫兹。峰顶因数（峰值和有效值的比率）是个很重要的决定因素，较高的峰顶因数要求采用动态测量范围较大的仪表，因此转换电路的精度也就更高。峰顶因数最小应达到 3。

值得注意的是尽管两种仪表在测量失真波形的时候读数不同，而它们在测量纯正弦波时却读数一致。这个状态就是两种测量仪的校准状态，因而两个测量仪都可以看作为已经校准过了——仅限用于正弦波。

真有效值仪表已经用了 30 多年了，过去它仅用于专业领域、并且价格昂贵。现代电子学的发展促进了真有效值测量仪的发展，现在许多手持式万用表都具有这种功能。遗憾的是，这个功能也只是很少生产商一般地认知。然而就是这样其价格之低仍足以使真有效值仪表在公用场合种普及应用。

表 1 平均值测量仪和真有效值测量仪的读数差别

万用表型式	对于 正弦波	对于 方波	对于 单相二极管整流器	对于 三相二极管整流器
				
平均值，按有效值校准	正确	高 10 %	低 40 %	低 5—30 %
真有效值	正确	正确	正确	正确

测量值过低造成的后果

绝大多数电路元器件的极限容量值是由保证元器件不过热而可以散发的热量所决定的。

例如，电缆的容量是由特定的安装条件（决定散热的快慢）和最大的工作温度所决定的。因为含有谐波的电流有着比普通平均测量值要高的有效值，电缆的实际运行电流值往往被低估，因而导致电缆的工作温度比预期的温度要高，结果是电缆的绝缘下降、过早损坏甚至引发火灾。

母线的尺寸取决于母线因对流和热辐射所散发的热量速率与电阻损耗发热速率。上述速率相等时的温度就是母线的正常工作温度。通常将母线的正常工作温度设计地足够低以使绝缘和支持材料不过早老化。就电缆而言，真有效值的测量误差将会导致过高的工作温度。而母线一般来说体积都很大，它的集肤效应比一般的小规格导线要明显的多，从而导致温度进一步提高。

其他的一些电力元器件，如熔断器和断路器的热元件，它们的额定电流值是根据有效值来制定的，因为它们的特性和散热紧密相关。这就是误跳闸的根本原因所在。真实电流大于所预期电流，导致断路器一直工作在过电流状态，长期工作可能会引起跳闸。处于过电流状态断路器对温度非常敏感出的问题，难以预测。任何由误跳闸引起的断电所造成的事故损失都可能是巨大的，例如，电脑系统数据丢失和生产控制系统瘫痪等等。在指南的第 2 章将对这些问题具体讨论。

很明显，只有真有效值仪表才能给出正确的测量值，才能正确确定电缆、母线和断路器的额定值。一个很重要的问题：怎样才能知道仪表是否是真有效值仪表？通常可以通过产品说明书作出判断，可往往是在实际需要的时候产品说明书并不在手边。有一个很好的办法：分别用已知的平均值仪表（往往是手头最便宜

的那种)或真有效值仪表和待定的测量仪同时测量象个人电脑这样非线性负荷的电流和白炽灯回路的电流值,比较其读数。对于白炽灯负荷,两种测量仪的读数应一致。而在接入个人电脑后一台仪表的读数比另外一台仪表大很多(比如说20%以上)则此仪表很可能是真有效值仪表。若此时两表读数接近,说明两种仪表是同一类型的。

## 结论

真有效值测量对于任何带有很多非线性负载(个人电脑、电子镇流器和紧凑型荧光灯等)的装置意义重大。平均值测量仪的测量值比真实值最大可小40%,从而会导致电缆和断路器在“不满载”状态下而出现故障和频繁误跳闸。