

什么是谐波？什么是 THD？

基于 AWE2101 功率分析仪、电参数测试仪的应用

版本：Rev AWE2101-02-2

声明：

本应用笔记中所出现的信息在出版当时相信是正确的，然而 Aitek 对于本应用笔记的使用不负任何责任。文中提到的应用目的仅仅是用来做说明，Aitek 有权不经通知而更改本应用笔记，对于此应用笔记所描述的产品是否适合特定用途而不作任何保证、声明和承诺。不承担因应用或使用在任何产品而引起的任何责任；不承担任何直接损失、附带损失或间接损失的赔偿责任。测量的参数会因不同的应用环境而变化，所有参数须经客户的技术专家按其应用目的核准后方可生效。文中可能会出现：电参数测量仪、电参数测试仪、功率仪、功率测量仪、功率表、功率计、数字功率计等用词，均指功率分析仪。

本应用笔记在不改变内容的条件下可以免费拷贝、传阅、或以任何形式的出版、传播而无需经本公司同意。如需引用、改编全部或部分内容则必须经本公司书面同意。

本应用笔记内容如有理解异议，以爱特应用推广部解释为准。

前言：

谐波，在各个领域均有存在，包括力学、声学、流体学、电力电子学等，本文针对电力谐波为主体，尝试以简单明了的方法描述谐波原理、成因、测量、介绍 THD 的原理等。

关键词：

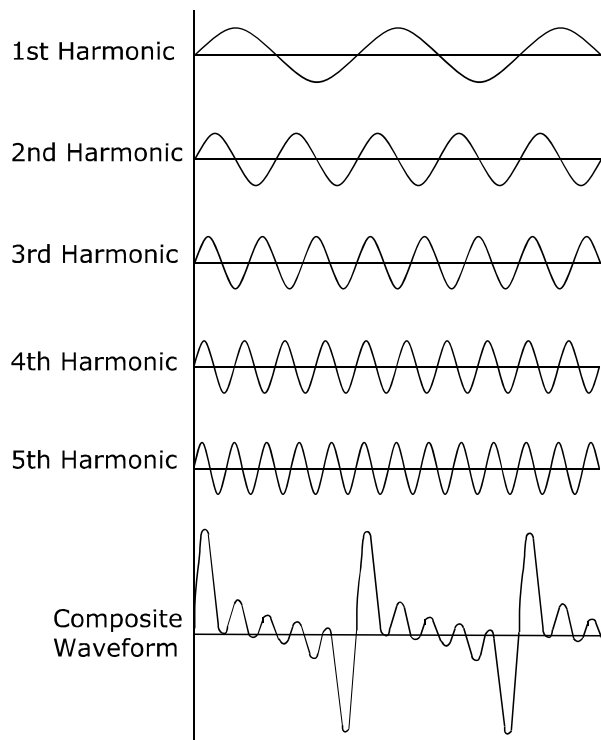
谐波、THD、DFT、FFT、傅里叶级数、离散采样、离散数学。

谐波介绍

谐波，从字面解释，谐，有“多部分”的意思，谐和，指多部分协调有致。波，指的是波形（Wave）。合起来形容，就是有很多种波形合成的波形。

从高等数学中分析可知：任何周期性波形均可分解为一个基频正弦波加上许多高次频率的正弦波，高次频率是基频的整倍数（ N ，只能为整数），直流成分称为 0 次谐波，基波称为 1 次谐波，二次以上的波形称为高次谐波，其中偶次频率的波形称为偶次谐波，奇次频率的波形称为奇次谐波。例如一个基频为 200 HZ 的波形，其基波为 200HZ，当它的波形不是纯正的正弦波时，便有失真存在，其 200HZ 以上的波形称为高次谐波，400HZ 为二次谐波，600HZ 为三次谐波，如此类推。下面的图片形象地合成了这个波形，是以一个 200HZ 的正弦基波和 2-5 次高次谐波组成。

THD 为总谐波失真的英文(Total Harmonic Distortion)简写，是谐波计算的引申，表征被输入波形的失真程度，THD 数值越大，输入波形的失真越严重，高次谐波越丰富。数值越小，失真越小，高次谐波占的分量越小。THD 分电压 V_{THD} 和电流 I_{THD} ，



当然，在这里需简单说明，为什么高次谐波一定要 N 倍频率？而且 N 必须为整数？难道不能为小数吗？这也是笔者在学习谐波分析时的疑问。后来翻查资料得知，其实我们应用离散数学在谐波的分析过程中只需用到整数谐波就足够了，没有必要用小数谐波，用小数谐波会令计算过程更加复杂。其实小数谐波是真实存在的，在这里我们轻轻带过，不再详述。

在理想的供电系统中，电流和电压的波形都是正弦波的。在只含线性元件(电阻、电感及电容)的电路里，流过的电流与施加的电压成正比，流过的电流便是正弦波。

但现实跟理想总是存在距离，在实际的供电系统中，由于存在非线性负荷，当电流流过与所加电压不呈线性关系的负载时，就形成非正弦电流。例如基频为 50Hz，二次谐波为 100Hz，三次谐波则为 150Hz。因此畸变的电流波形可能有二次谐波、三次谐波……可能直到几百次谐波组成。

电力谐波分为电压谐波和电流谐波，电压谐波与基波的比值远比电流谐波与基波的要小。影响电压谐波的主要因素为负载瞬间出现的尖峰电流，因为供电线路存在电阻值，电流流过时产生电压压降，此电阻与负载串联，导致负载电压波形有瞬间噪音波形出现，形成谐波。电流谐波则由负荷的特性产生，所有的非线性负荷都能产生谐波电流，产生谐波的设备有很多种类型，列举我们熟知的部分设备类型有：开关电源(SMPS)、电子镇流器、调速传动装置、不间断电源(UPS)、磁性铁芯设备及某些家用电器如电视机等。

谐波的危害是比较严重的。使电能的生产、传输和利用的效率降低，使电气设备过热、产生振动和噪声，并使绝缘层加速老化，使用寿命缩短，甚至发生故障或烧毁。谐波可引起电力系统局部并联谐振或串联谐振，使谐波含量放大，造成电容器等设备烧毁。谐波还会引起继电保护和自动装置误动作，使电能计量出现混乱。高次谐波对于电力系统外部，对通信设备和电子设备会产生严重干扰，特别是对于一些医用仪器设备，我们必须加以重视，防止测量、控制错误。频率较低的谐波主要通过电源线传导干扰影响外部设备，而频率较高的谐波不仅通过电源线传导干扰，还通过空间辐射影响外部设备。

现在，对于中小功率的用电设备，通常有两种方法改善谐波，一种是无源修正法，也称被动修正法，这种修正法采用普通的 LCR 元件，通过谐振，滤波的方式提高功率因数，减小高次谐波，这种修正法的特点是成本低廉，在功率不高、性能要求不高的场合可以使用。另一种为有源修正法，也称主动修正法(Active Power Factor Corrector 简称 APFC)，这种修正法使用专用的功率因数校正 IC、开关元件、储能器件等，将交流输入的电流进行整形，而保持与电压波形一致，使功率因数最大，并使谐波成分尽可能小，这种修正法的特点是可实现的指标高，性能好。

快速傅里叶变换算法是基于复数运算的，有按时域抽取样本和按频域抽取样本两种算法，其运算结果是一样的，只是排序不一样。限于篇幅，在这里不再详述，有兴趣的读者可在互联网上找到更多关于 FFT 的信息。

表征谐波的参数有：谐波次数（频率）、幅值（峰值）、绝对含量值、相对含量值（与基波的比值或与总含量的比值）、初相等。

用在电能质量评估，通常有两种谐波标准：

1. THD-F：IEC 谐波标准，以基波百分比的方式表示谐波。
2. THD-R：CSA 谐波标准，以谐波的有效值百分比方式表示谐波。

THD-R 是在一个信号中以相对整个有效值（基波+谐波分量）的谐波数量百分比表示；THD-F 是相对基波的百分比表示。不同的标准将需要 THD-R 或 THD-F。

THD-F 的基本概念

其 IEC（国际电工委员会）规定的计算公式如下。

$$V_{\text{THD-F}} = \frac{\sqrt{|V_2|^2 + |V_3|^2 + |V_4|^2 + |V_5|^2 + \dots + |V_N|^2}}{|V_1|} * 100\%$$

$$I_{\text{THD-F}} = \frac{\sqrt{|I_2|^2 + |I_3|^2 + |I_4|^2 + |I_5|^2 + \dots + |I_N|^2}}{|I_1|} * 100\%$$

其中：

V_1 ：基波电压成分

I_1 ：基波电流成分

V_2 、 V_3 、 V_4 、 V_5 …… V_N ：整倍数的谐波电压成分

$I_2、I_3、I_4、I_5……I_N$ ：整倍数的谐波电流成分

THD-R 的基本概念

THD为总谐波失真的英文简写，是谐波计算的引申，表征被输入波形的失真程度，THD数值越大，输入波形的失真越严重，高次谐波越丰富。数值越小，失真越小，高次谐波占的分量越小。THD分电压VTHD和电流ITHD两种，其IEC（国际电工委员会）规定的计算公式如下。

$$V_{THD-R} = \frac{\sqrt{|V_2|^2 + |V_3|^2 + |V_4|^2 + |V_5|^2 + \dots + |V_N|^2}}{\sqrt{|V_1|^2 + |V_2|^2 + |V_3|^2 + |V_4|^2 + \dots + |V_N|^2}} * 100\%$$

$$I_{THD-R} = \frac{\sqrt{|I_2|^2 + |I_3|^2 + |I_4|^2 + |I_5|^2 + \dots + |I_N|^2}}{\sqrt{|I_1|^2 + |I_2|^2 + |I_3|^2 + |I_4|^2 + \dots + |I_N|^2}} * 100\%$$

其中：

V_1 ：基波电压成分

I_1 ：基波电流成分

$V_2、V_3、V_4、V_5……V_N$ ：整倍数的谐波电压成分

$I_2、I_3、I_4、I_5……I_N$ ：整倍数的谐波电流成分

THD-R 和 THD-F 转换

$$THD-R = \frac{THD-F}{\sqrt{1 + |THD-F|^2}} * 100\%$$

$$THD-F = \frac{THD-R}{\sqrt{1 - |THD-R|^2}} * 100\%$$

测量谐波用的工具

- | | | |
|-----------------------|------|------------------|
| 1. AWE2101A-URS 功率分析仪 | 1 台 | 用于参数测量，记录参数的曲线变化 |
| 2. 电脑一台 | 1 套 | 用于显示参数和记录参数曲线 |
| 3. 500W 精密变频电源 | 1 台 | 用于提供测试用可调电源 |
| 4. 待测量的负载 | 1PCS | |

AWE2101A-URS 是一台功能强大、精度高的功率分析仪，采用 32 位微处理器为核心元件，具有 USB、RS232、RS485 三种通讯，USB 可提供高速的数据通信，快速显示在电脑的屏幕中。RS485 可以提供大于 1000 米的长距离通讯，可将老化试验室的仪器和你的办公室的电脑互相连接，通过免费的电脑端软件，观看测量数据，无需跑到闷热的老化室。这台仪器具有常规的电参数和谐波测量功能外，还具有启动冲击电流测量和长时间参数变化曲线记录功能，这两种功能在可靠性试验中非常有用。



关于本文中涉及更多的 AWE2101A-URS 的操作方法在本应用笔记中可能无法一一说明，请登录 www.aitek.tw 下载其用户手册查看。

下图是 AWE2101A-URS 的 PC 端软件窗体，若读者想更了解这软件的更多功能，请登录 www.aitek.tw 下载仪器用户手册和该 PC 端软件。

下图是一台电视机的输入波形，我们可以看到，电流的高次谐波比较丰富，特别是三、五、七等奇次谐波，因为波形周期的对称性，偶次谐波含量比较低。电压谐波分量较低，故电压 THD 值较低。



下图是各次谐波的具体含量报告：

谐波次数	电压绝对值	电压相对值	电流绝对值	电流相对值
0	0.42	0.18%	0.0041	0.93%
1	228.62	100.00%	0.4366	100.00%
2	0.32	0.14%	0.0047	1.08%
3	2.15	0.94%	0.3943	90.3%
4	0.05	0.02%	0.0031	0.7%
5	1.9	0.83%	0.3193	73.12%
6	0.08	0.03%	0.0028	0.64%
7	1.08	0.47%	0.2259	51.74%
8	0.03	0.01%	0.0026	0.6%
9	0.84	0.37%	0.1308	29.97%
10	0.01	0.00%	0.0024	0.55%
11	0.98	0.43%	0.0492	11.27%
12	0.04	0.02%	0.0021	0.47%
13	0.16	0.07%	0.0073	1.68%
14	0.04	0.02%	0.0021	0.47%
15	0.34	0.15%	0.0365	8.36%
16	0.06	0.03%	0.0011	0.26%
17	0.25	0.11%	0.0405	9.28%
18	0.02	0.01%	0.0013	0.3%
19	0.16	0.07%	0.0295	6.76%

结束语

谐波的可靠、方便测量得益于现代化的仪器、高速高精度的 ADC、和高速的微处理器。为电子、电器设计工程师在产品的设计、车间生产测量、品质管理等带来方便。也为电力系统的谐波测量、监控带来方便。熟悉谐波的特性，设计、制造优良的电器产品。

对本笔记有不明事宜请通过下列资料联系 Aitek:

肇庆爱特精密测量科技有限公司

地址: 广东省高要市南岸镇南兴四路文德街东一巷 9 号

电话: 0758-6120037 传真: 0758-6120399

Website: www.aitek.tw

Email: serve@aitek.tw