

电源测量

应用指南

目录

1. 测量电源	2
1.1. 关键功率测量	3
2. 测量电压、电流和功率的关键	4
2.1. RMS (均方根值)	5
2.2. 平均值	6
2.3. 真实功率和表现功率 (W & VA)	7
2.4. 功率因数	9
2.5. 波峰因数	10
2.6. 谐波失真	10
2.7. 待机功率	11
3. 哪些电源类型	11
4. 总结	11
5. 参考资料	11

1. 测量电源

电源是把电能从一个电压和频率转换成另一个电压和频率的供电电子系统。一般来说，它们把交流线路 (110 / 220V 50/60Hz) 转换成低压 (12, 5, 3V) 直流，并提供安全隔离和控制功能。

电源设计人员努力改善设计效率，同时在一个输入范围和负载条件上保持规定的性能，以满足国际安全和 EMC 法规。

功率分析仪是用来进行下述测量的工具：

- 功率和效率
 - 输出功率占输入功率的百分比
- 功率因数
 - 确认功率因数校正电路的操作
- 待机功率
 - 包括满足能源之星和 IEC62310 Ed.2
- 负载和工频法规
 - EN610003-2 等法规规定的电流谐波

电源类型覆盖大量的应用，从几微瓦的插上式充电器直到几兆瓦的大型逆电器系统。

本应用指南介绍了在电源上要进行的测量以及怎样执行这些测量。

使用能够分析复杂波形、并拥有高带宽精度的功率分析仪，对设计人员、生产和质量保证至关重要。如果测量中未能正确表示复杂波形，那么可能会产生误导性结果。

- 关键电源测量

关键电源测量			
参数	关键性:	功率计基本特点	
真实电压 真实电流	线路整流, 跌落电压, 测试功率失败电路	使用高频波形采样进行真正 RMS 测量	
输入和输出功率	能耗	采样和平均非线性电流和电压, 提供有效功率或等效直流加热效应。	
VA $V_{RMS} \times I_{RMS}$	对功率因数测量的整体 (表现) 需求	测量独立于电压和电流之间的相位。	

表 1a.

关键电源测量																																																																																
参数	关键性:	功率计基本特点																																																																														
PF (功率因数)	合规要求这一指标, 优化使用提供的电压和电流	$\text{功率因数} = \frac{\text{真实功率}}{\text{表现功率}}$																																																																														
CF (波峰因数)	以高峰值分析电流波形	拥有高波峰因数测量功能的仪器可以分析这些典型的开关式波形。																																																																														
THD (总谐波失真)	分析非线性度的影响要求这一指标	功率 DSP 分析功能, 准确测量 THD。																																																																														
待机功率	能源之星和 IEC62301 要求这一指标	美国在 2000 年进行的一项研究声称, 待机功率占家庭耗电量的 10% 左右 (60 亿美元)。这里显示的是 IEC62301 测试报告。	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Test Item</th> <th>Average</th> <th>Minimum</th> <th>Maximum</th> <th>Min/Max</th> <th>Max Limit</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Voltage</td> <td>229.89 V</td> <td>229.99 V</td> <td>229.99 V</td> <td>227.79 V</td> <td>234.99 V</td> <td>PASS</td> </tr> <tr> <td>Current</td> <td>0.9899 mA</td> <td>0.8972 mA</td> <td>10.953 mA</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Frequency</td> <td>59.058 Hz</td> <td>49.999 Hz</td> <td>59.913 Hz</td> <td>49.700 Hz</td> <td>59.500 Hz</td> <td>PASS</td> </tr> <tr> <td>Power</td> <td>2.3056 W</td> <td>2.2997 W</td> <td>3.3066 W</td> <td>N/A</td> <td>3.0000 W</td> <td>FAIL</td> </tr> <tr> <td>Power Factor</td> <td>0.9973 W</td> <td>0.9973 W</td> <td>1.0002</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Voltage Crest Factor</td> <td>1.4143</td> <td>1.4139</td> <td>1.4144</td> <td>1.9909</td> <td>1.4999</td> <td>PASS</td> </tr> <tr> <td>Current Crest Factor</td> <td>1.4142</td> <td>1.4140</td> <td>1.4145</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Storage THD</td> <td>1.2119 µH</td> <td>45.971 µH</td> <td>97.972 µH</td> <td>N/A</td> <td>1.0000 µH</td> <td>PASS</td> </tr> <tr> <td>Linearity Error</td> <td>-1.7112°</td> <td>1.6876°</td> <td>1.7260°</td> <td>1.6090°</td> <td>N/A</td> <td>PASS</td> </tr> <tr> <td>Result Interval</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>0.15 s</td> <td>N/A</td> <td>2.0 s</td> <td>PASS</td> </tr> </tbody> </table>	Test Item	Average	Minimum	Maximum	Min/Max	Max Limit	Status	Voltage	229.89 V	229.99 V	229.99 V	227.79 V	234.99 V	PASS	Current	0.9899 mA	0.8972 mA	10.953 mA	N/A	N/A	N/A	Frequency	59.058 Hz	49.999 Hz	59.913 Hz	49.700 Hz	59.500 Hz	PASS	Power	2.3056 W	2.2997 W	3.3066 W	N/A	3.0000 W	FAIL	Power Factor	0.9973 W	0.9973 W	1.0002	N/A	N/A	N/A	Voltage Crest Factor	1.4143	1.4139	1.4144	1.9909	1.4999	PASS	Current Crest Factor	1.4142	1.4140	1.4145	N/A	N/A	N/A	Storage THD	1.2119 µH	45.971 µH	97.972 µH	N/A	1.0000 µH	PASS	Linearity Error	-1.7112°	1.6876°	1.7260°	1.6090°	N/A	PASS	Result Interval	N/A	N/A	0.15 s	N/A	2.0 s	PASS
Test Item	Average	Minimum	Maximum	Min/Max	Max Limit	Status																																																																										
Voltage	229.89 V	229.99 V	229.99 V	227.79 V	234.99 V	PASS																																																																										
Current	0.9899 mA	0.8972 mA	10.953 mA	N/A	N/A	N/A																																																																										
Frequency	59.058 Hz	49.999 Hz	59.913 Hz	49.700 Hz	59.500 Hz	PASS																																																																										
Power	2.3056 W	2.2997 W	3.3066 W	N/A	3.0000 W	FAIL																																																																										
Power Factor	0.9973 W	0.9973 W	1.0002	N/A	N/A	N/A																																																																										
Voltage Crest Factor	1.4143	1.4139	1.4144	1.9909	1.4999	PASS																																																																										
Current Crest Factor	1.4142	1.4140	1.4145	N/A	N/A	N/A																																																																										
Storage THD	1.2119 µH	45.971 µH	97.972 µH	N/A	1.0000 µH	PASS																																																																										
Linearity Error	-1.7112°	1.6876°	1.7260°	1.6090°	N/A	PASS																																																																										
Result Interval	N/A	N/A	0.15 s	N/A	2.0 s	PASS																																																																										

表 1b.

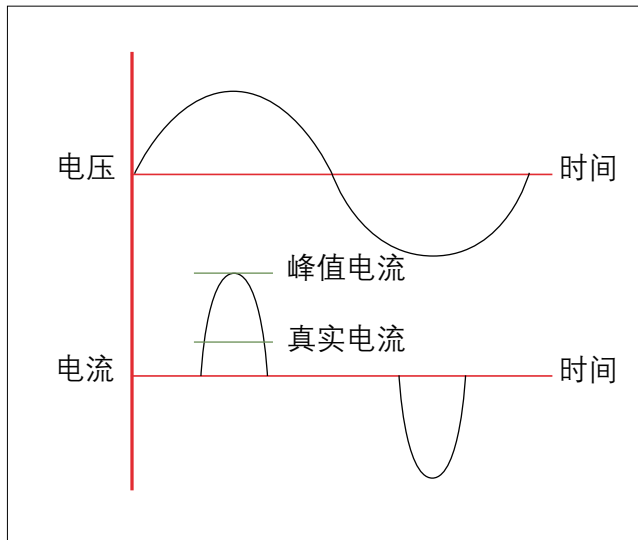


图 1. Vrms 和 Arms 波形。

2. 测量电压、电流和功率的关键

连接到交流线路的电源一般会吸收失真的非线性电流。许多交流电压表和电流表会对波形平均值做出响应，尽管在 RMS 下校准，但它们只对纯正弦波才是准确的。

通过获得多个电压和电流波形周期中大量的瞬时电压和电流样点，泰克功率分析仪可以获得 RMS 值，甚至可以获得高度失真的波形的真实 RMS 值。泰克功率分析仪进行 AC 和 DC 耦合，能够在所有频率和波形上进行准确的功率测量。

电流和电压的相位和幅度样点是推导出多个所需参数、以检定电源的算法的基本构件。测量输入和输出功率为电源提供了一个效率指标。高效测量需要高输入和输出功率测量精度。一般要检定电源，确定正常工作功率和待机功率（设备连续应用功率，但通过电子器件关闭）。吸收的电流是非线性的，因此测量真实 RMS 电流和电压至关重要。图 1 显示了来自典型开关式电源的电流和电压波形。

拥有高频采样功能的功率分析仪对准确地测量所有基本设计参数至关重要，包括 RMS 功率、功率因数、谐波、等等，如图 1 所示。

泰克功率分析仪是峰值量程仪器。这意味着它们以高达 10 的波形因数测量波形，无需用户干预，也不会引起其它错误。

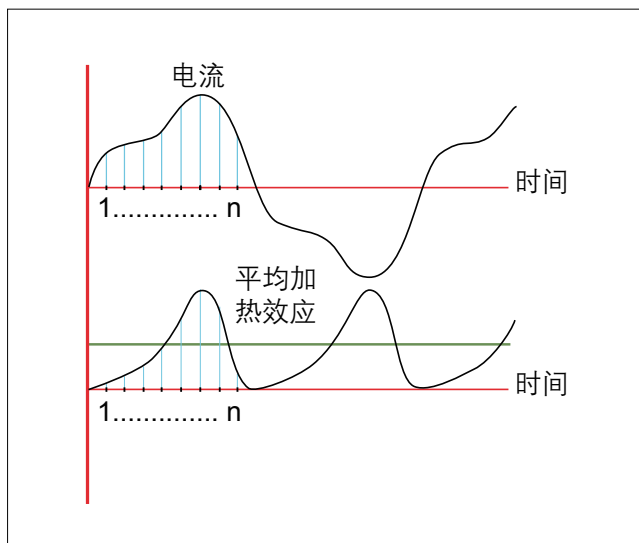


图 2. 均方根波形。

2.1. RMS (均方根值)

RMS 值是规范 AC 电压和电流值最常用、也是最实用的手段。AC 波形的 RMS 值表明该波形中提供的、相同电压上等效 DC 的功率电平。这是任何交流电源最重要的属性之一。通过考虑 AC 电流波形及相关加热效应，如图 2 所示，可以最好地描述 RMS 值的计算过程。电流 (安培) 被视为流经电阻；任意时点上的加热效应由下面的公式给出：

$$W = I_2 R$$

通过把电流周期划分成间隔相等的坐标 (样点)，可以确定加热效应随时间变化，如上面的图 2 所示。平均加热效应 (功率) 由下面的公式给出：

$$W = \frac{I_1^2 R + I_2^2 R + I_3^2 R \dots I_n^2 R}{n}$$

为确定产生上面所示的平均加热效应的电流等效值，可以使用下面的公式：

$$I^2 R = \frac{I_1^2 R + I_2^2 R + I_3^2 R \dots I_n^2 R}{n}$$

因此：

$$I = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 \dots + I_n^2}{n}}$$

电流的有效值 = 电流平方的均方根。这个值通常称为 AC 波形的有效值，因为它等于在电阻负载中产生同样加热效应 (功率) 的直接电流。值得一提的是，对正弦曲线波形：

$$RMS \text{ 值} = \frac{\text{峰值}}{\sqrt{2}}$$

$$RMS = 0.707 \times \text{峰值}$$

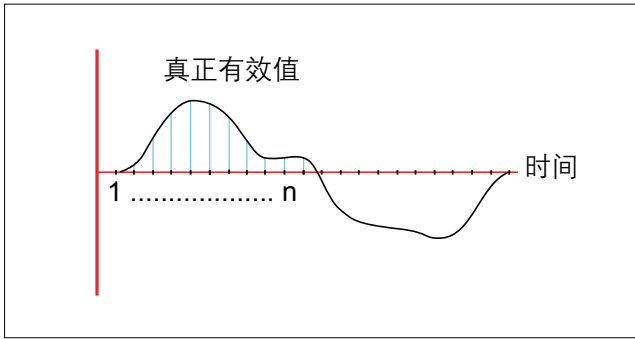


图 3. 平均值计算方法。

2.2 平均值

图 3 所示的波形的平均值由下面的公式确定：

$$\text{平均值} = \frac{\text{半个周期包围的面积}}{\text{半个周期上的基数长度}}$$

很明显，平均值只在波形的半个周期上有实际意义，对于对称波形，一个完整周期上的中间值或平均值为零。大多数简单的万用表通过全波整流 AC 波形，然后计算中间值，来确定 AC 值。但这些仪表将在 RMS 下校准，利用正弦曲线波形的 RMS 和平均值之间的已知关系，即：

$$\text{RMS} = 1.11 \times \text{中间值}$$

但是，对纯正弦波之外的波形，这些仪表的读数是无效的。必需使用图 3 所示的技术计算 RMS 值。

2.3 实际功率和表现功率 (W & VA)

正弦曲线电压源，比如 100V RMS，连接到电阻负载上，比如 100 Ω，然后可以如图 4 所示描述电压和电流，称之为“同相”。任意时点从电源流向负载的功率由该时点的电压和电流的乘积确定，如图 4 所示。

从这里可以看出，流入负载的功率会在 0 – 200W 之间波动（供电频率的两倍），传送到负载的平均功率等于 100W—这是预计从 100V RMS 和 100Ω 电阻中得到的值。但是，如果负载是无功的（即包含电感或电容及电阻），阻抗为 100Ω，那么流经的电流仍是 1A RMS，但不再与电压同相。图 5 显示了一个电感负载，电流落后了 60 度。尽管功率流持续以供电频率的两倍波动，但它现在只在每半个周期的部分时间内从电源流向负载，而在其余时间，它实际上从负载流向电源。因此，进入负载的平均净流量要远远小于图 4 所示的电阻负载，传送到电感负载的实用功率只有 50W。

在上面两种情况下，RMS 电压等于 100V RMS，电流是 1A RMS。这两个值的积是传送到负载中的表现功率，用 VA 表示如下：

$$\text{表现功率} = V_{\text{RMS}} \times A_{\text{RMS}}$$

可以看出，传送的实际功率取决于负载的特点。不可能从知道的 RMS 值中确定真实功率的值，必须使用真正的 AC 功率计，其要能够计算瞬时电压值和电流值的积，并能够显示结果的中间值。通常会测量 VA，保证 AC 电源拥有足够的容量。

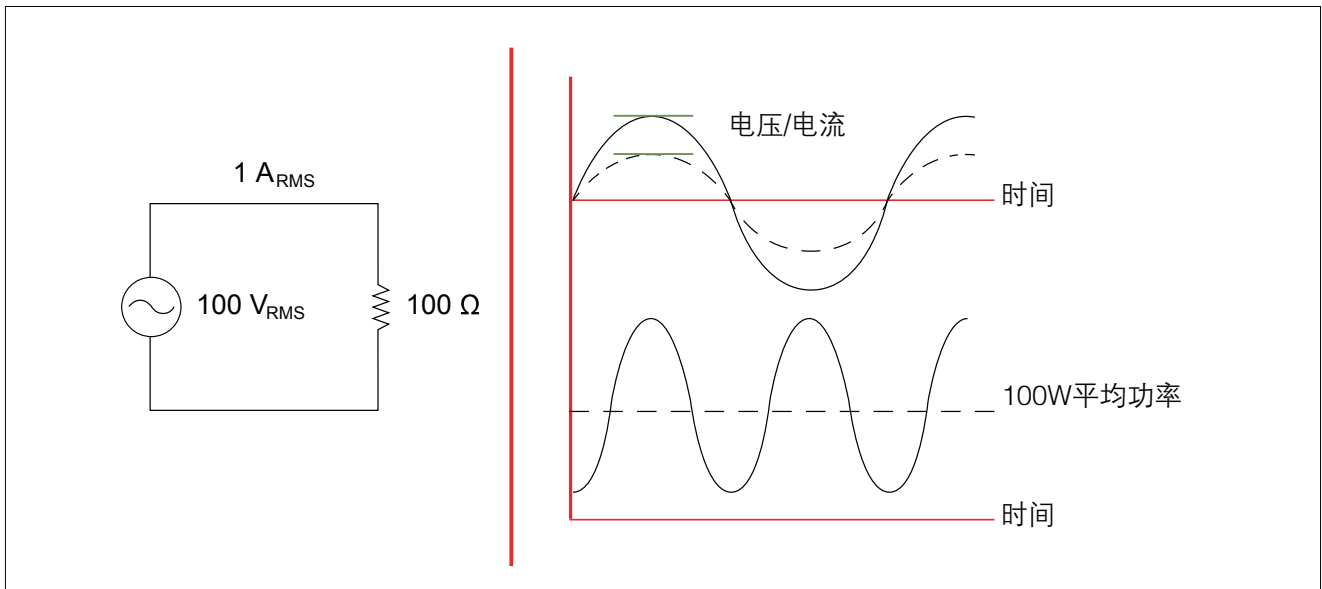


图 4. 电压和电流相位波形。

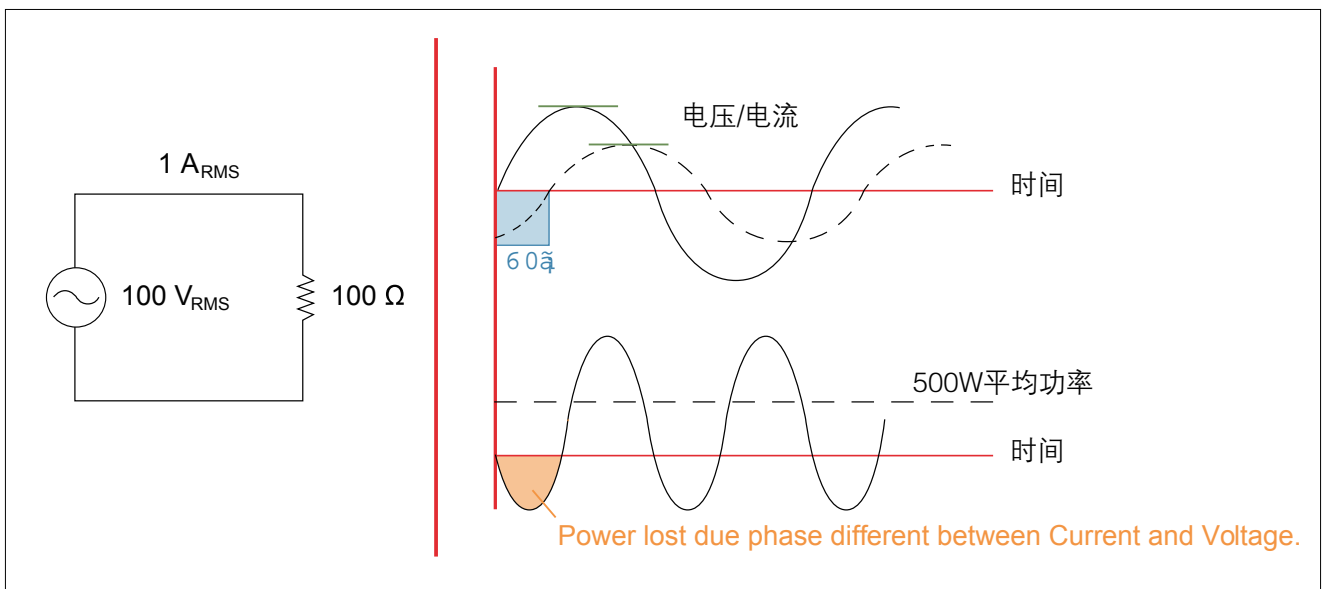


图 5. 从电源流向负载的功率。

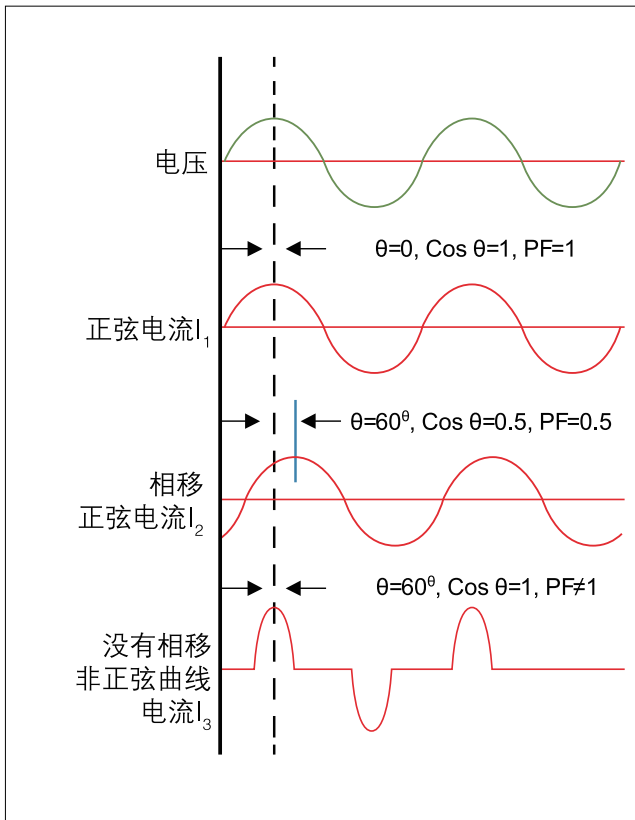


图 6. 功率因数波形。

2.4 功率因数

很明显，与 DC 系统相比，传送的 AC 功率并不是简单的电压值与电流值之积。还必须考虑进一步要素，称为功率因数。在前面具有电感负载的实例（真实功率和

表现功率）中，功率因数是 0.5，因为实用功率正好是表现功率的一半。因此，我们可以把功率因数定义为：

$$\text{功率因数} = \frac{\text{真实功率}}{\text{表现功率}}$$

在正弦曲线电压和电流波形中，功率因数实际上等于电压波形和电流波形之间的相位角 (θ) 的余弦。例如，对上面描述的电感负载，电流落后电压 60 度。

因此：

$$\text{功率因数} = \cos\theta = \cos 60^\circ = 0.5$$

基于这一原因，功率因数通常为 $\cos\theta$ 。但是，一定记住，这只是电压和电流是正弦曲线时的情况 [图 6 (I1 和 I2)]，在任何其它情况下，功率因数不等于 $\cos\theta$ [图 6 (I3)]。在使用读取 $\cos\theta$ 的功率因数表时必须记住这一点，因为除纯正弦曲线电压和电流波形外，读数是无效的。真正的功率因数表将计算真实功率与表现功率之比，如讨论实际功率和表现功率一节所述。

即使在非常低的功率因数时，泰克功率分析仪仍能保留高准确度，这一点对产品检定和开发非常重要。

2.5 波峰因数

泰克功率分析仪可以测量高波峰因数 (~10)。这对检定开关式电源至关重要，其通常吸收高峰值电流。我们已经看到，对正弦曲线波形：

$$\text{峰值} = \text{RMS} \times \sqrt{2}$$

峰值和 RMS 之间的关系称为波峰因数，公式如下：

$$\text{功率因数} = \frac{\text{真实功率}}{\text{表现功率}}$$

因此，对正弦曲线：

$$\text{波峰因数} = \sqrt{2} = 1.41$$

连接到 AC 电源的许多现代设备项目都会获取非正弦曲线电流波形，包括电源、灯光调节装置、甚至荧光灯。电源表现的电流波峰因数通常约为 4、最高为 10。

2.6 谐波失真

如果负载引起电流波形失真，那么除知道波峰因数外，还应量化波形的失真水平。观测示波器可以指明失真，但不能指明失真水平。傅立叶分析表明，非正弦曲线电流波形由供电频率上的基础成分外加供电频率整数倍的频率上的一串谐波成分组成。例如，对 SMPS，灯光调节装置、甚至调速洗衣机马达都可能包含更明显的谐波，如图 7 所示。

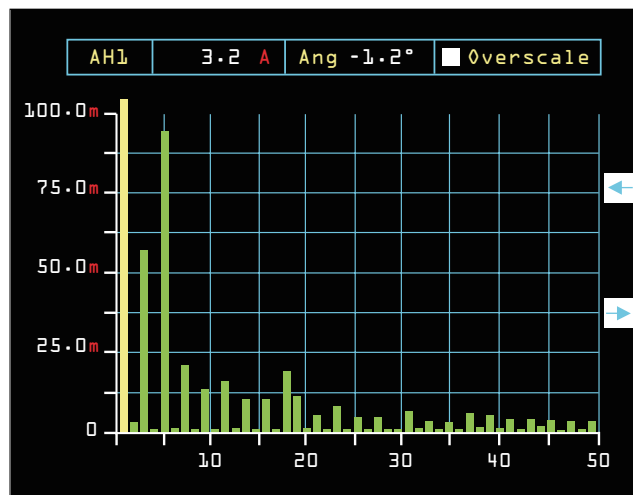


图 7. 谐波柱状图实例。

唯一实用的电流是电流的基础成分，因为只有基础成分才能生成实用功率。其它谐波电流不仅流经电源内部，而且流经所有配电电缆、变压器及与电源有关的开关装置，从而导致额外的损耗。设计人员日益认识到，必需限制设备可以产生的谐波水平。许多地区存在控制措施，限制某些负载类型允许的谐波电流水平。这些法规控制正日益广泛，并使用国际公认的标准，如 EN61000-3-2。因此，设备设计人员需要提高意识，确定其产品是否产生谐波，如果是，谐波水平是多少。只有基础成分产生功率，谐波一般不产生功率。

2.7 待机功率

待机功率是负载没有执行全部功能时电源吸收的功率。这既可以是微波炉上的时钟消耗的功率，也可以是电池充满时笔记本电脑充电器吸收的功率。

进行测量不仅要求非常低的量程，还要求使用专门技术，克服突发模式下运行的电源问题。

泰克功率分析仪为设计人员提供了快速单键待机模式，与 PWRVIEW PC 软件相结合，可以执行完全合规的能源之星和 IEC62310 Ed.2 待机功率测量。详情请参阅我们编写的与此有关的详细应用指南。

3. 哪些电源类型

电源设计一般分成两类，线性电源或开关式电源。在通用开关式电源中，电源用于高效应用中，如计算机和壁挂式充电器。这些电源外观紧凑，价格低。在输出（及可能输入）需要非常干净（低 EMI/EMC）及低噪声时，一般会选择线性电源，但这些电源效率低、体积大。

逆变器 – 太阳能应用明显关注微型和大规模逆变器，这些应用从光伏 (PV) 电池中获得 DC，然后把它转换成单相或多相 AC，接入电网。

LED 驱动器 – LED(发光二极管) 指示灯系统的电源(驱动器) 拥有多种拓扑，低成本和高效率是其推动因素。输出电压通常是 AC 或整流后的 DC，并支持亮度使用的 PWM (脉宽调制) 控制功能。

4. 总结

在电源上进行功率和功率相关测量要求完善准确的仪器，以保证电源满足规范。

泰克 PA1000 功率分析仪拥有多种高级功能，包括峰值量程、双分流器和波形显示，可以加快和增强现代电源的测试和开发工作。

5. 参考资料

- 使用 PA1000 进行镇流器测量, cn.tek.com
- 使用 PA1000 进行待机低功率测量, cn.tek.com
- PA1000 用户手册, cn.tek.com
- 功率分析仪附件手册, cn.tek.com

泰克科技(中国)有限公司

上海市浦东新区川桥路1227号
邮编: 201206
电话: (86 21) 5031 2000
传真: (86 21) 5899 3156

泰克北京办事处

北京市海淀区花园路4号
通恒大厦1楼101室
邮编: 100088
电话: (86 10) 5795 0700
传真: (86 10) 6235 1236

泰克上海办事处

上海市徐汇区宜山路900号
科技大楼C楼7楼
邮编: 200233
电话: (86 21) 3397 0800
传真: (86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处

深圳市福田区南园路68号
上步大厦21层G/H/I/J室
邮编: 518031
电话: (86 755) 8246 0909
传真: (86 755) 8246 1539

泰克成都办事处

成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编: 610063
电话: (86 28) 6530 4900
传真: (86 28) 8527 0053

泰克西安办事处

西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层C座
邮编: 710065
电话: (86 29) 8723 1794
传真: (86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处

武汉市解放大道686号
世贸广场1806室
邮编: 430022
电话: (86 27) 8781 2760/2831

泰克香港办事处

香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话: (852) 2585 6688
传真: (852) 2598 6260

有关信息

泰克公司备有内容丰富的各种应用文章、技术简介和其他资料，并不断予以充实，可为从事前沿技术研究的工程师提供帮助。请访问泰克公司网站 cn.tektronix.com



©2013 年泰克公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利及外国专利的保护。本文中的信息代替以前出版的材料中的所有信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。