



	AC INPUT Ch3		GROUP 1 Ch4	
Vrms	256.49	V	Vrms	21.559 mV
Arms	172.26	mA	Arms	3.1420 mA
Watt	23.683	W	Watt	-7.9248 uW
VA	0.0000	VA	VA	67.738 uVA
Hz	0.0000	Hz	Freq	0.0000 Hz
PF	44.183	PF	PF	-0.1170

# 交流电源测量基础知识

## 应用指南

电源分析涉及到某些测量、项目和计算，新进入这个领域的工程师和技术人员对这些内容可能会感到陌生或产生混淆。此外，当今电源转换设备通常会产生复杂的电压波形和电流波形，可能要求不同于过去对比较简单的正弦波所使用的方法。本应用指南将介绍电源测量的基本概念，阐明主要项目的定义，如：

- 均方根
- 真实功率
- 表现功率
- 功率因数
- 波峰因数
- 谐波失真

通过更好地理解这些测量项目和概念，以及它们之间的关系，您将更好地做好准备，理解测试设计时遇到的测量。

PWM OUT Sum			AC INPUT Ch3		
Watt	0.0000	W	Vrms	255.96	V
Vrms	138.95	V	Arms	169.20	mA
Arms	234.04	mA	Watt	23.841	W
VA	56.326	VA	WHr	18.527	Wh
VAr	56.326	VA	Hr	779.12	mh
Freq	-----		VA	43.308	VA

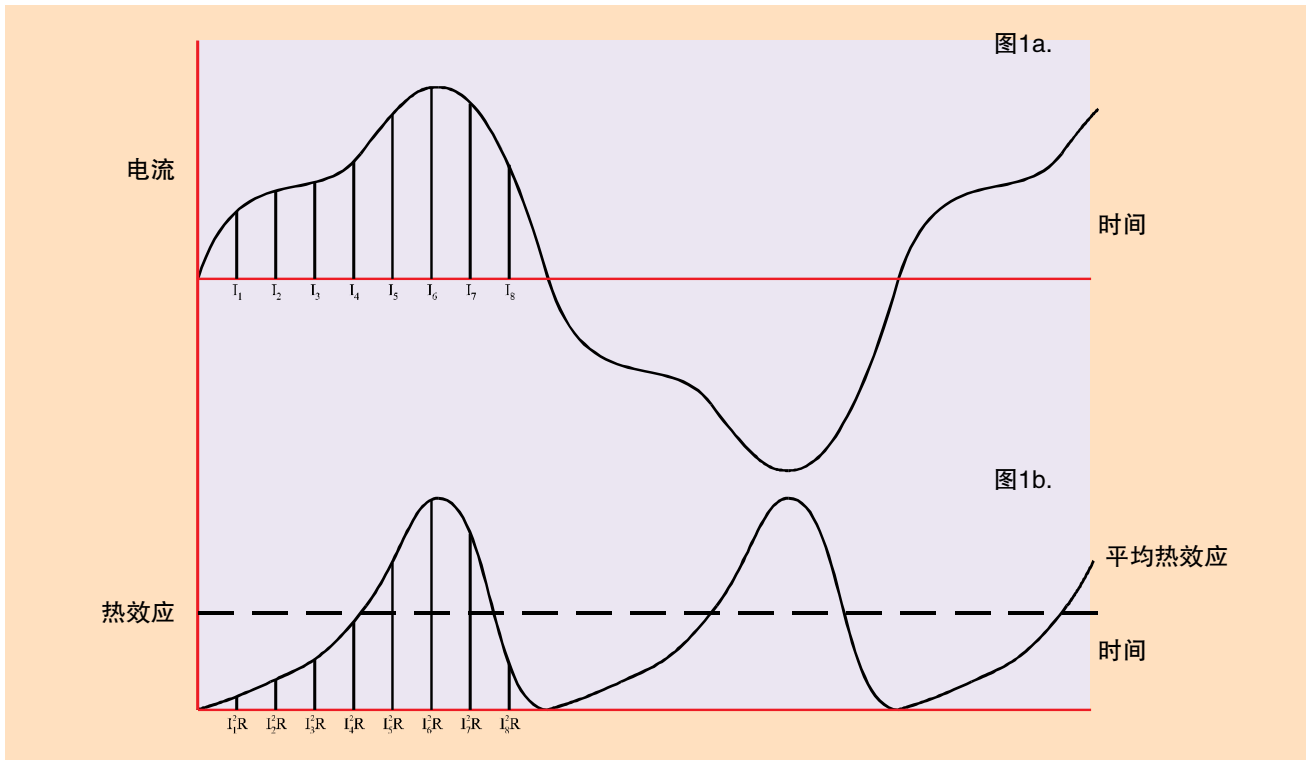


图 1.

## RMS (均方根值)

RMS 值是指明 AC 电压和电流值最常用、最实用的手段。AC 波形的 RMS 值指明了从波形中提供的功率水平，这是任何 AC 电源最重要的属性之一。

最好考虑 AC 电流波形及相关的热效应，如上面的图 1a 所示，来描述 RMS 值的计算方式。

如果这个电流被视为流经电阻，那么应通过下面的公式得出任何时点上的热效应：

$$W = I^2 R$$

通过把电流周期划分到均匀间隔的坐标中，可以确定热效应随时间变化，如上面的图 1b 所示。

平均热效应 (功率) 的计算公式如下：

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

如果我们想找到产生上面所示的平均热效应的同等电流值，那么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：

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

= 电流的平方的均方根

= 电流的 RMS 值

这个值通常表明 AC 波形的有效值，因为它等于在电阻负载中产生相同热效应 (功率) 的直接电流。

需要指出的是，对正弦曲线波形：

$$RMS \text{ value} = \frac{\text{peak value}}{\sqrt{2}}$$

即：RMS=0.707 x 峰值

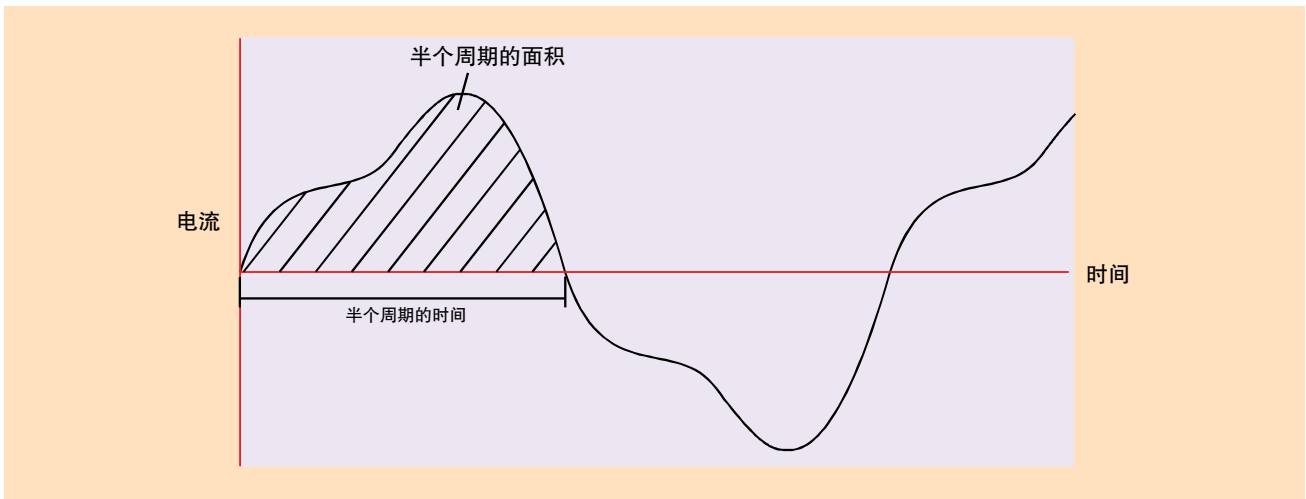


图 2.

## 平均值

如图 2 所示，波形的平均值用下面的公式计算：

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

注意，平均值只在波形的半个周期上有实际意义，因为对于对称波形，整个周期上的中间值或平均值为零。最简单的万用表使用 AC 波形的全波校正来确定 AC 值，然后计算中间值。

但是，在 RMS 中将校准这些仪表，并利用正弦曲线波形 RMS 和平均值之间的已知关系，即：

$$\text{RMS} = 1.1 \times \text{中间值}$$

但是，对纯正弦波之外的波形，这些仪表的读数是无效的。因此，示波器、电源分析仪和优质万用表直接测量 RMS 值，而不是根据校正后的波形推断这些值。

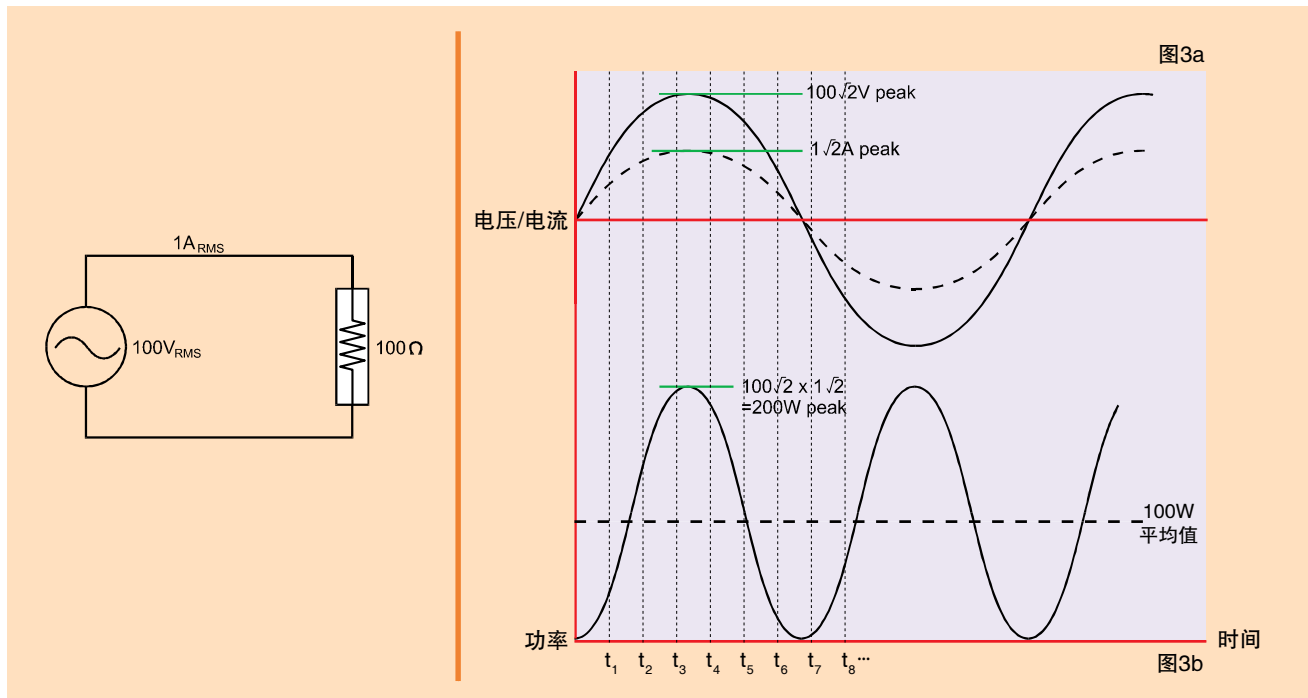


图 3.

### 真实功率和表现功率 (W & VA)

如果正弦曲线电压源，比如  $100V_{RMS}$ ，连接到电阻负载上，比如  $100\Omega$ ，那么电压和电流可以表示为图 3a，称为“同相”。在任何时点从电源流向负荷的功率使用该时点的电压和电流乘积得出，如图 3b 所示。

注意，流入负荷的功率会在  $0 - 200W$  之间波动（其频率是供电频率的两倍），传送到负荷的平均功率等于  $100W$ 。多个瞬时功率值的平均值是“真实功率”（有时称为“活动功率”）。这是为负荷提供的完成实际工作的功率，用瓦特表示。注意在纯电阻负荷中，可以把 RMS 电压 ( $100 V_{RMS}$ ) 乘以 RMS 电流 ( $1 A_{RMS}$ )，得到真实功率 ( $100 W$ )。

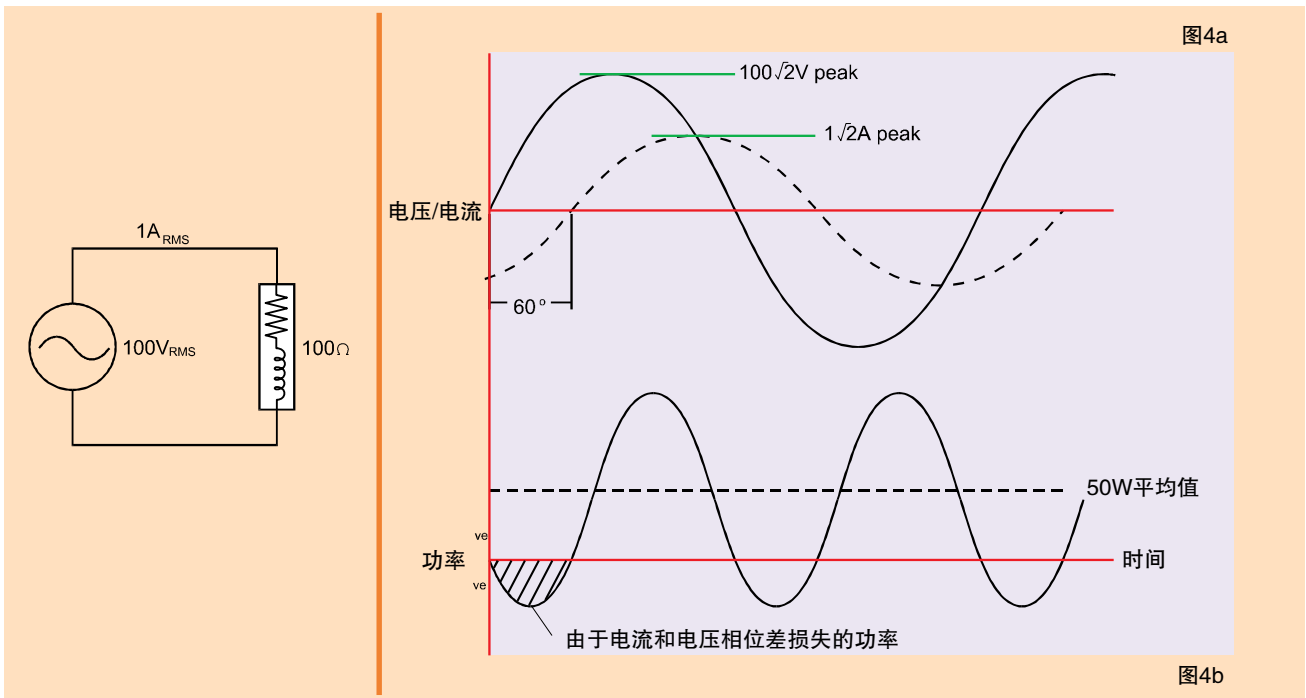


图 4.

现在我们看一下更加现实的负荷。真实世界负荷是无功负荷，也就是说，它们有某些电感和电容及电阻。例如，我们假设有一个负载，它有电阻及占主导地位的电感，结合在一起构成  $100\Omega$  阻抗。电流流量仍是  $1 A_{RMS}$ ，但电流流量不再与电压同相，如图 4a 所示，其中电流滞后电压  $60^\circ$ 。

尽管功率流量持续以供电频率的两倍波动，但现在它只在每半个周期的一部分时间内从电源流向负荷，而在其余部分，它实际上是从负荷流向电源。

流入负荷的平均净流量要比电阻负荷小得多，如图 4b 所示—只有 50W 的有用功率（即真实功率）传送到电感负荷中。

## 应用指南

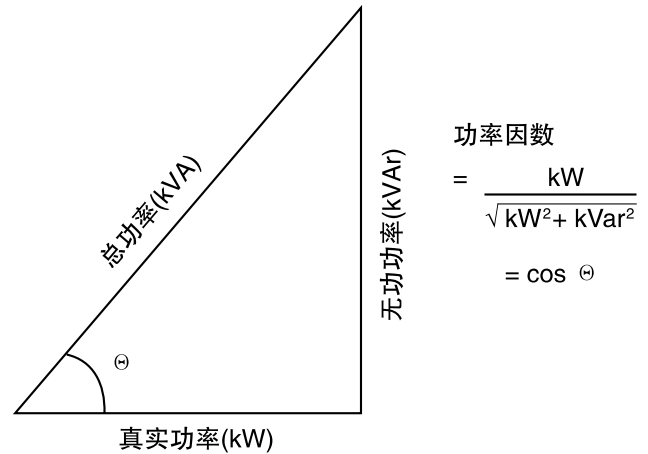
为确定真实功率，我们使用与第一个实例相同的技术。我们同时测量波形多个点的电压和电流，把这些值相乘，然后取平均值。不管相移或波形如何，这种真实功率计算方法都是有效的。

在上面两种情况下，RMS 电压都等于  $100V_{RMS}$ ，电流为  $1A_{RMS}$ 。但在无功负荷情况下，真实功率不等于  $V_{RMS} \times I_{RMS}$ 。也就是说，负荷为执行工作提供了 50 W，而不是 100 W。遗憾的是，电源系统还必须传送完整的 100 W，尽管没有用。RMS 电压和 RMS 电流之积以伏安 (VA) 作为单位，公式如下：

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

有时，最好考虑表现功率和真实功率之差。表现功率和真实功率之间的向量差称为无功功率，用无功伏安 (VAr) 表示。在测量无功功率时，假设表现功率、真实功率和无功功率构成一个直角三角形，其中表现功率是最长的边（直角三角形的斜边）。因此：

$$\text{无功功率} = \sqrt{\text{表现功率}^2 - \text{真实功率}^2}$$



但是，这种关系只适用于正弦曲线波形，而这种波形在当今电源电子器件中越来越少见。

传送的真实功率在一定程度上取决于负荷的特点。在知道 RMS 电压和电流时，是不可能确定真实功率值的。这只能通过使用真正的 AC 功率计或示波器来实现（如评估热损耗或效率），真正 AC 功率计或示波器要能够瞬时电压和电流值之积，并显示结果的中间值。

## 功率因数

现在应该明确，与 DC 系统相比，除纯电阻负荷外，传送的 AC 功率并不是简单的 RMS 电压值和 RMS 电流值之积。表达表现功率和真实功率之间关系的方式之一是使用无功功率概念，我们已经对此进行了介绍。但是，在大多数应用中，可以更容易地掌握和应用真实功率和表现功率之间的简单比率。这一比率称为功率因数，公式如下：

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

在前面的实例中，实用功率 (50 W) 是表现功率 (100 VA) 的一半，所以我们说，功率因数是 0.5 或 50%。(注意功率因数的单位是没有量纲的)

在正弦曲线电压波形和电流波形中，功率因数实际上等于电压波形和电流波形之间的相位角 ( $\theta$ ) 的余弦。例如，对前面介绍的电感负荷，电流滞后电压  $60^\circ$ 。

因此：

$$PF = \cos\theta = \cos 60^\circ = 0.5$$

也正因如此，功率因数通常称为  $\cos\theta$ 。但是，需要记住，这只适用于电压和电流是正弦曲线 [图 5 ( $I_1$  和  $I_2$ )]，且在任何其它情况下功率因数不等于  $\cos\theta$  的情况 [图 5 ( $I_3$ )]。在使用读取  $\cos\theta$  的功率因数表时，必须注意这一点，因为除纯正弦曲线电压波形和电流波形外，读数是无效的。真实功率因数表将计算上面介绍的真实功率与表现功率之比。

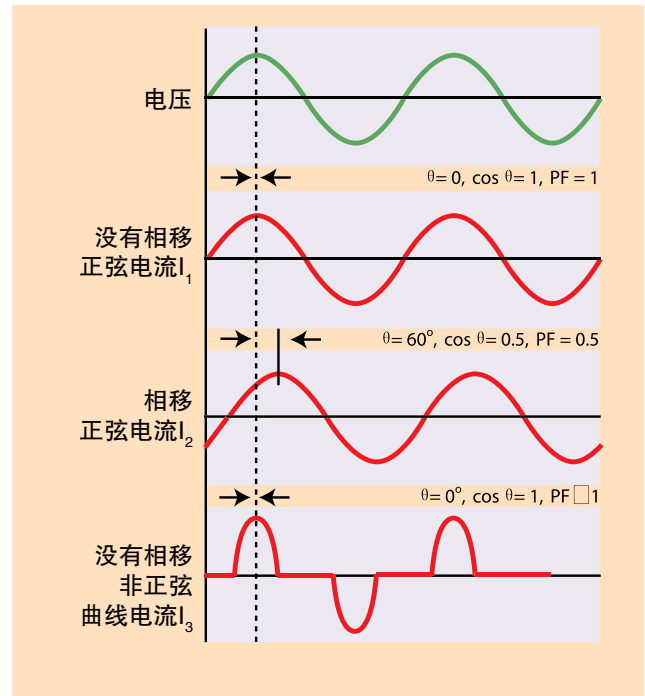


图 5.

### 波峰因数

我们在前面已经说明，对正弦曲线波形：

$$\text{Peak value} = \text{RMS} \times \sqrt{2}$$

峰值和 RMS 之间的关系称为峰波因数，公式如下：

$$\text{波峰因数} = \frac{\text{峰值}}{\text{RMS 值}}$$

因此，对正弦曲线：

$$\text{Crest factor} = \sqrt{2} \cong 1.41$$

许多连接到 AC 电源的现代设备项目获得的都是非正弦曲线电流波形，包括电源、灯调光器、甚至荧光灯。

典型的开关式电源 (SMPS) 将从 AC 电源中获得电流，如图 6 所示。很明显，图中电流波形的波峰因数要比 1.414 大得多——事实上，大多数开关式电源和马达速度控制器的电流波峰因数都在 3 或更高。因此，它遵循一个规律，即大的电流峰值因数必须给为此类负荷供电的设备带来额外的压力，因为设备必须能够提供与失真的波形有关的大峰值电流。在限定阻抗的电源（如备用逆变器）为负荷供电时，其相关度特别高。因此很明确，在涉及 AC 设备时，必需知道吸收的电流的波峰因数及其 RMS 电流。

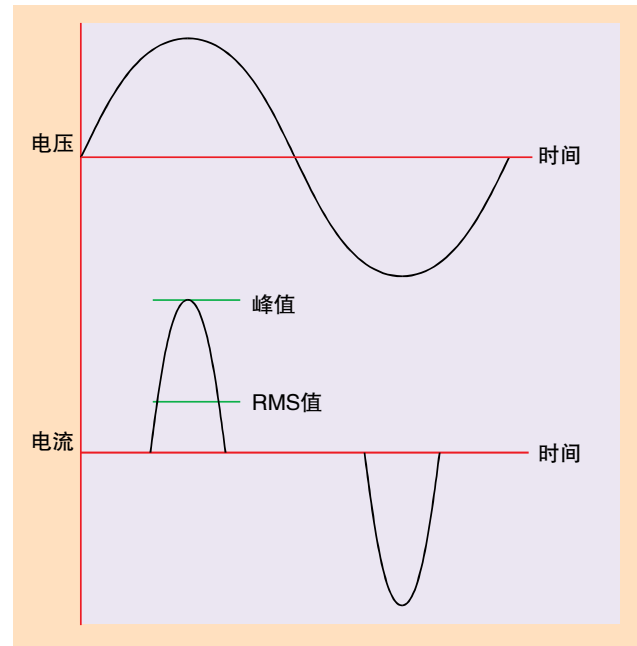


图 6.



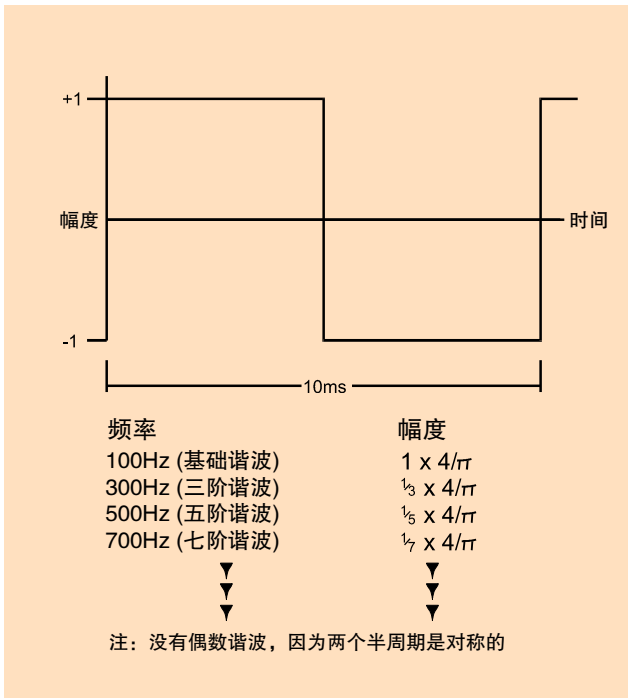


图 7.

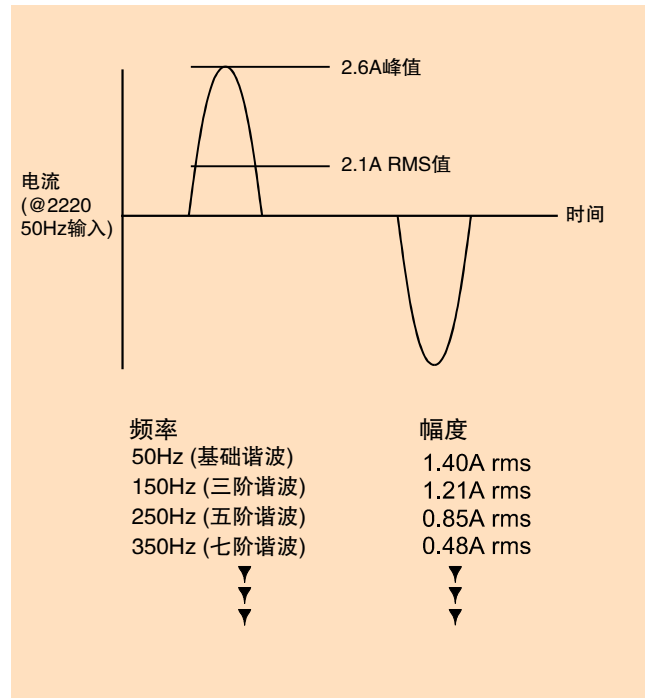


图 8.

## 谐波失真

如果负荷引入电流波形失真，那么除了知道波峰因数外，最好量化波形的失真。示波器上的监测结果将指明失真，但不是失真水平。

傅立叶变换表明，非正弦曲线电流波形由供电频率的基础成分及一串谐波（即供电频率整数倍的频率上的成分）组成。例如，100Hz 方波由图 7 所示的成分组成。与纯正弦波相比，方波的失真明显更严重。但是，吸收的电流波形，如 SMPS、灯调光器、甚至控制速度的洗衣机马达，会包含有效性高得多的谐波。图 8 显示了流行的 SMPS 模型吸收的电流以及该电流的谐波成分。

额外的谐波电流不仅在电源自身内部流动，还在与电源相关的所有分配电缆、变压器及开关设备中流动，从而会导致额外的损耗。

人们日益认识到，必需限制设备可以产生的谐波水平。许多地区都有控制措施，对某些负荷类型允许的谐波电流水平规定了极限。通过使用国际公认标准，如 EN61000-3，这类法规控制正在越来越广泛。因此，设备设计人员越来越需要了解其产品是否产生谐波，以及产生的谐波水平。

## 测量 AC 参数

在本应用指南中，我们介绍了最基本的 AC 功率参数。还存在许多其它专用参数，但这些参数广泛用来评估 AC 系统。通过了解这些基础参数，您将能够理解测试自己的系统时在实验室中看到的测量数据。

**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](http://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。

04/13 EA/WWW

55C-28941-0

**Tektronix®**