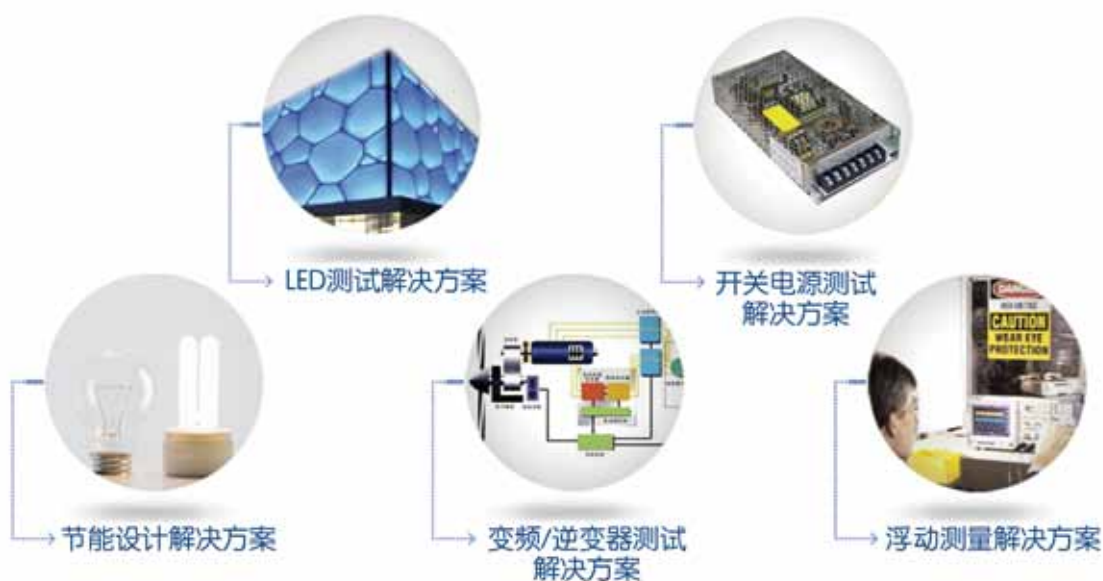


泰克功率分析仪 | 应用文集



PA4000 优异的性能



新型泰克 PA4000 功率分析仪采用 Spiral Shunt™ 技术，即使对于极富挑战的功率波形也能始终提供准确的测量。大多数功率分析仪还在使用跨零点来检测和跟踪基波频率，而 PA4000 功率分析仪则使用独特的方法锁定信号，不管信号如何复杂。加上很大的电流和电压输入范围、内置测试模式和标准 PC 接口，您可拥有兼具高精度和多功能的功率分析仪。

高精高稳



● 电流电压测试精度：

高达0.01%的基本的电流电压测试精度，精确的测试您的单相或者三相系统。

● 专利的螺旋式电流分流器：

专利技术，最大程度减少杂散电感，提高仪器高频信号测试能力，具有高抗过载及良好的稳定性。

● 独特的频率测试技术：

区别于其它功率分析仪传统的过零点频率测试技术，泰克采用自己独特的频率测试技术，不管您信号是标准的信号还是有干扰毛刺，都能准确稳定的进行频率的测试。

● 峰值因数高达10精确测试：

PA4000 为您提供了峰值因数高达10的精确测，对待机功耗，或者变频驱动等波形畸变严重的信号，提供高精度的测试。

● 标配内置双螺旋分流器：

30Arms和1Arms两个，实现了从mW级到KW 的功率高精度的测试能力，对1Arms 输入通道进行了保护设计。

功能强大

● 标配测量模式：

内置标配了PWM马达，镇流器，待机功耗，能量积分等应用测量模式，简化客户设定工作，对应的应用一键搞定。

● 谐波功能：

标配了高达100次的电压，电流，功率的谐波测试功能，满足IEC61000标准对谐波A级评价的测试要求。

● 机械功率测试功能：

标配了4路模拟信号输入，2路计数器输出功能，能方便的测试马达的扭矩及转速信号。



配套齐全

● 通讯接口：

标配了目前客户比较常用的USB, 以太网, RS232 多种的通讯接口，可选配GPIB。

● PWRVIEW 软件：

标配了功能强大软件，用户可以通过USB，Ethernet，RS232 等通讯接口可以实现对仪器的远程控制，参数设定，数据监控，谐波直方图显示及数据记录等功能。



0.01%精度 5年保修 泰克全新PA4000功率分析仪



PWRVIEW: 轻松完成功率测量!

买PA4000, Surface Pro平板电脑+PWRVIEW软件免费送!

详情点击: <http://PA4000.g2information.com>

活动介绍

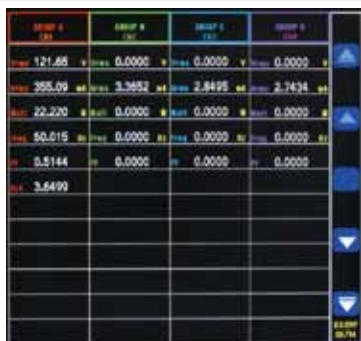
2013年10月1日至12月31日, 用户在促销页面注册申请PA4000礼品兑换券, 并在泰克指定授权经销商处购买PA4000系列功率分析仪, 即可免费获得预装PWRVIEW软件的价值¥5,788微软超便携Surface Pro平板电脑一台!

PWRVIEW: 轻松完成功率测量!

- 多种应用模式引导, 轻松完成仪器设置
- 待机功耗测试, 一键报告生成
- 设置界面友好, 简便实现远程控制
- 自动数据记录功能

泰克 PA4000 独特产品优势

高精高稳



- 1-4通道型号, 0.01%电压电流测量精度
- 专利螺旋双分流器大大提升稳定度
- 精度范围达峰值因数10的畸变信号

功能强大



- 标配1A/30A有效值, 双螺旋分流器
- PWM驱动、镇流器、待机功耗、能量积分四种测量模式
- 标配100次谐波测量, 满足IEC61000-4-7谐波要求
- 标配机械功率(扭矩, 转速)的测试功能

配套齐全



- 标配PWRVIEW远程控制分析软件
- 标配丰富接口: USB、LAN、RS232
- 1A电流分流器过载保护, 防止浪涌电流破坏主机
- 功率与谐波同时测量, 无需切换

目 录

产品介绍

PA4000 功率分析仪	1
--------------------	---

基础知识

三相电源测量基础知识应用指南	9
交流电源测量基础知识应用指南	15

应用案例

脉宽调制 (PWM) 马达驱动器电源分析	24
电动汽车电机驱动测试方案	43
太阳能逆变器测试方案	48
消费电子测试方案	52

功率分析仪

PA4000 产品技术资料



泰克 PA4000 功率分析仪提供了高精度的多通道功率测量、能量测量和转换效率测量功能。精密灵活的输入、独一无二的螺旋式分流器 (Spiral Shunt™) 技术及先进的信号处理技术，即使测试波形高度调制和波峰因数在高达 10 情况下，仍能实现极高的精度。多功能 PA4000 提供了完善的功率测量能力。双电流分流器从几微瓦到几千瓦，提供了最优的测试精度。PA4000 标配高达 100 次谐波分析及马达分析功能，并支持扭矩和转度传感器信号输入。每台 PA4000 标配多种计算机通讯接口、远程控制软件和 U 盘存储功能，帮助您捕获和分析测试数据。

主要特点

- 1 – 4 个输入模块，支持多种配置，满足您的应用需求
- 测量精度高达 0.01% (基本电压和电流精度)，满足您极高的测试要求
- 每个模块双内部电流分流器，最大限度地提高大电流测量和小电流测量的精度
- 独特的螺旋式分流器 (Spiral Shunt™) 设计，在电流、温度等变化时保持稳定 (已经申请专利)
- 专有的频率检测算法，即使在有噪声的波形上，仍确保可靠的频率追踪能力
- 特定应用测试模式，简化仪器设置，降低用户出错的可能性
- 简便地把数据导出到 U 盘或通过 PC 软件实现编制报告和远程控制
- 多种标配功能，如通信端口，谐波分析，电机测试等，消除昂贵的升级选项

应用

- 功率转换
- 发电机
- 逆变器
- 马达驱动器
- 电力推动
- UPS
- 变频器
- 电动汽车和混合动力汽车
- 节能灯
- 消费电子
- 待机功率

灵活的电压和电流输入选项，适应您的各种应用要求

PA4000 是同类产品中唯一在每个输入模块中拥有大量程和小流程内部电流分流器的仪器。30A 有效值电流分流器为许多应用提供了完美的解决方案，可以支持高达 200 A 峰值电流；而在测量小电流器件时，1 A 有效值分流器则提供了更高的分辨率和精度，可以测量最小达微安级的电流。如果您想测量超过 30A 的电流，您可以选择多种样式的配套外部电流变送器，包括高达 1000 A 的高精度变送器。

PA4000 的电压输入可以支持高达 1000 V_{rms}、2000 V_{peak}、连续电压。



PA4000 后面板 – 输入模块

PA4000 功率分析仪

独一无二的 Spiral Shunt™ 技术 (已经申请专利)

PA4000 采用创新的 Spiral Shunt(螺旋分流器) 设计, 保证在宽输入电流、环境温度、波峰因数及其它变量范围内实现稳定的线性响应。这种新型设计要优于其它分流器技术, 在当前电源转换技术常见的各种信号条件下, 保证仪器实现可靠的精度和可重复性。螺旋结构不仅使杂散电感达到最小(实现最优的高频性能), 还提供了高过载功能, 改善了热稳定性。



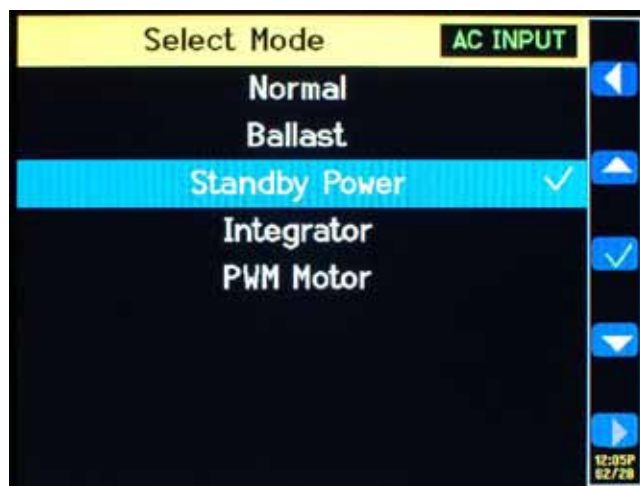
30 A 输入的 Spiral Shunt(螺旋分流器)。



1 A 输入的 Spiral Shunt(螺旋分流器)。

特定应用测试模式

某些应用要求特定的仪器设置, 以保证正确的测量。PA4000 自动选择为每种测量应用优化的仪器设置和参数, 简化了这些应用的设置, 提供更加可靠的测量结果, 减少用户设置出错的可能性。



选择特定应用测试模式。

PWM 马达驱动模式

PWM 马达模式旨在解决在马达驱动器常见的复杂波形上进行测量有关的难题。高频采样与数字滤波相结合, 抑制载频, 提取马达频率, 同时功率参数测量仍使用滤波前的初始数据。

待机功率模式

在消费者需求和能效法规 (如能源之星) 的推动下, 人们对测量产品在待机模式下能耗的需要日益提高。其中使用最广泛的测量标准之一是 IEC 62301。在这一标准中, 部分标准要求长时间周期内测量功率, 不能漏掉任何短时间的功率事件。PA4000 待机功率模式连续采样电压和电流信号, 在用户指定的时间周期内精确测量功率值。

镇流器模式

镇流器模式同步测量高度调制的电子镇流器波形。在现代电子照明镇流器中，通常很难进行准确的测量，因为输出信号是电源频率高度调制的高频波形。镇流器模式为把测量周期锁定到功率频率提供了一种途径。

积分器模式

积分器模式用来提供测量功能，确定能耗（瓦时、安时、等等）。此外，对某些参数还提供了平均值。

适用于 PA4000 功率分析仪的 PWRVIEW PC 软件

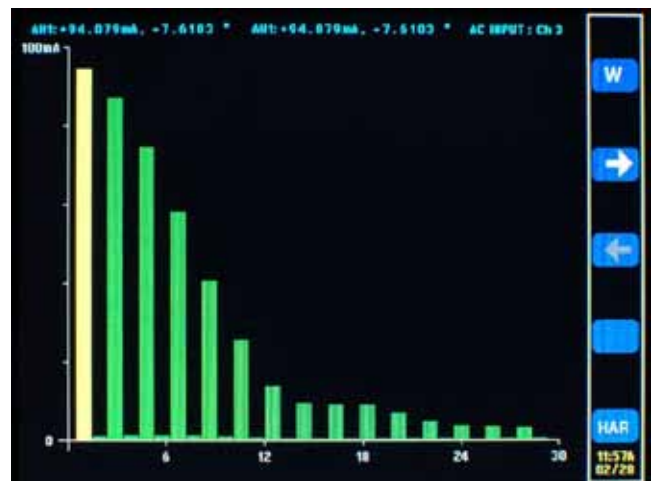
PWRVIEW 是适用于 Windows PC 的配套应用软件，补充和扩展了 PA4000 的功能。PWRVIEW 使您能够：

- 通过任何仪器通信端口与 PA4000 通信
- 远程改变仪器设置
- 从仪器中实时传送、查看和保存测量数据，包括波形、谐波柱状图和曲线
- 记录一定时间周期内的测量数据
- 同时与多台 PA4000 仪器通信，并下载数据
- 创建公式，计算功率转换效率和其它值
- 把测量数据导出为 .csv 格式，导入其它应用中
- 通过使用向导驱动界面，只需点击几下鼠标，就可以为主要应用自动完成仪器设置、数据采集和报告编制
- 根据 IEC62301 第二版标准，对低待机功率执行全面一致性测试
- 在未来版本中将增加其它自动测试功能



标准谐波分析

PA4000 标配了高达 100 次谐波分析功能。除其它功率参数外，还可以同时分析谐波、THD 等相关测量。它可以准确测量谐波幅度、相位和谐波功率，这对分析旋转电机的损耗至关重要。



谐波柱状图显示模式。

PA4000 功率分析仪

标准通信端口

PA4000 标配 USB、以太网和 RS-232 通信端口，外加前面安装的 USB 端口，用来把数据导出到 U 盘中。另外还以选项的方式，提供了 GPIB 端口。



PA4000 后面板，带有多个通信端口

技术数据

测量

所有测量均在 1 MHz 处以 1 M 样点 / 秒的速率获得。

测量精度指标适用的波峰因数最高为 10。

推荐校准间隔为一年。

提供的测量

V_{RMS} - 电压有效值	VDF - 电压失真系数
A_{RMS} - 电流有效值	VTIF - 电话干扰系数电压
WATT - 有功功率	ATHD - 电流总谐波失真
VA - 视在功率	ADF - 电流失真系数
VAR - 无功功率	ATIF - 电话干扰系数电流
FRQ - 频率	VF - 基波有效值电压
PF - 功率因数	AF - 基波有效值电流
VPK+ - 正峰值电压	IMP - 阻抗
VPK- - 负峰值电压	RES - 电阻
APK+ - 正峰值电流	REA - 电抗
APK- - 负峰值电流	HR - 积分时间
VDC - 电压直流分量	WHR - 瓦时
ADC - 电流直流分量	VAH - 伏安时
VRMN - 整流平均电压	VRH - VAr 时
ARMN - 整流平均电流	AHR - 安时
VCF - 电压波峰因数	WAV - 平均功率
ACF - 电流波峰因数	PFAV - 平均功率因数
VTHD - 电压总谐波失真	CVAR - 修正功率

测量

电压范围和电流范围

电压范围	2000 V _{peak} , 1000 V _{peak} , 500 V _{peak} , 200 V _{peak} , 100 V _{peak} , 50 V _{peak} , 20 V _{peak} , 10 V _{peak} , 5 V _{peak} , 2 V _{peak} ,
电流范围 (30 A 并联)	200 A _{peak} , 100 A _{peak} , 50 A _{peak} , 20 A _{peak} , 10 A _{peak} , 5 A _{peak} , 2 A _{peak} , 1 A _{peak} , 0.5 A _{peak} , 0.2 A _{peak} , 0.1 A _{peak}
电流范围 (1 A 并联)	5 A _{peak} , 2.5 A _{peak} , 1.25 A _{peak} , 0.5 A _{peak} , 0.25 A _{peak} , 0.125 A _{peak} , 0.05 A _{peak} , 0.025 A _{peak} , 0.0125 A _{peak} , 0.005 A _{peak} , 0.0025 A _{peak}
电流范围 (外部并联)	3 V _{peak} , 1.5 V _{peak} , 0.75 V _{peak} , 0.3 V _{peak} , 0.15 V _{peak} , 0.075 V _{peak} , 0.03 V _{peak} , 0.015 V _{peak} , 0.0075 V _{peak} , 0.003 V _{peak} , 0.0015 V _{peak}

测量精度 – 电压和电流

电压精度, V _{RMS} (45 Hz – 850 Hz)	± 0.01% 的读数 ± 0.04% 的范围
电压精度, V _{RMS} (10 Hz – 45 Hz, 850 Hz – 1 MHz)	± 0.05% 的读数 ± 0.05% 的范围 ± (0.02*F)% 的读数 ± 0.02 V (典型值)
电压精度, DC	± 0.05% 的读数 ± 0.1% 的范围 ± 0.05 V
电压精度, V _{rms}	± 0.2% 的读数 ± 0.1% 的范围 ± 0.1 V
共模效应 (典型值)	1000 V, 60Hz < 10 mV 100 V, 100 kHz < 50 mV
电流精度, A _{RMS} (45 Hz – 850 Hz) ¹	± 0.01% 的读数 ± 0.04% 的范围
电流精度, A _{RMS} (10 Hz – 45 Hz, 850 Hz – 1 MHz)	± 0.05% 的读数 ± 0.05% 的范围 ± (0.02*F)% 的读数 ± (20 μV/Z _{ext}) (典型值)
电流精度, DC	± 0.05% 的读数 ± 0.1% 的范围 ± (50 μV/Z _{ext})
电流精度, A _{rms}	± 0.2% 的读数 ± 0.1% 的范围 ± (100 μV/Z _{ext})

测量精度 – 功率

功率精度 (45 Hz – 850 Hz) ¹	± 0.02% 的读数 ± 0.06% 的范围
VA 精度 (45 Hz – 850 Hz) ¹	± 0.02% 的读数 ± 0.06% 的范围
VAR 精度	$\sqrt{[VA \pm VA_{error}]^2 - [W \pm W_{error}]^2} - \sqrt{VA^2 - W^2}$
PF 精度	$\cos\theta - \cos[\theta \pm (Vh1_{ph.err} \pm Ah1_{ph.err})] \pm 0.001$

测量精度 – 谐波幅度和相位²

电压谐波 (45 Hz – 850 Hz) (10 Hz – 45 Hz 和 850 Hz – 1 MHz 的典型值)	± 0.08% 的读数 ± 0.08% 的范围 ± (0.02*F)% 的读数 ± 0.02 V
电压谐波相位 (45 Hz – 850 Hz) (10 Hz – 45 Hz 和 850 Hz – 1 MHz 的典型值)	$0.025 \pm [0.005 * V_{range} / V_{reading}] \pm (0.1 / V_{range}) \pm (0.002 * F)$

¹ 这些指标适用于下述条件:

- 电压 = 10 V 或更高范围
- 30 A 并联 = 0.5 A 或更高范围
- 1 A 并联 = 0.025 A 或更高范围
- 信号 > 30% 的范围
- 电压准确度 @ PF = 1

² F 是以 kHz 为单位的频率。在谐波中, F 是谐波频率。Z_{ext} 是并联阻抗 (对 1 A 并联为 0.6Ω, 对 30 A 并联为 9.375 mΩ)。它假设测量的波形是正弦波。

校准期间的测量条件: 除另行指明外, 为仪器默认设置, 正弦波应用到 V 输入和 I 输入, 预热 30 分钟, 温度为 23°C ± 5°C。

PA4000 功率分析仪

测量

电流谐波 (45 Hz – 850 Hz) (10 Hz – 45 Hz 和 850 Hz – 1 MHz 的典型值) $\pm 0.08\%$ 的读数 $\pm 0.08\%$ 的范围 $\pm (0.02 * F)\%$ 的读数 $\pm (20 \mu V / Z_{ext})$

电流谐波相位 (45 Hz – 850 Hz) (10 Hz – 45 Hz 和 850 Hz – 1 MHz 的典型值) $0.025 \pm [0.005 * A_{range} / A_{reading}] \pm (0.001 / A_{range} * Z_{ext}) \pm (0.002 * F)$

物理特点

外观尺寸

高	13.2 cm	5.2 英寸
宽	42 cm	16.5 英寸
厚	31 cm	12.5 英寸

重量

净重 (没有线束时)	8.8 kg	19.5 磅
------------	--------	--------

温度

贮存温度	-20°C 到 +60°C
工作温度	0°C 到 +40°C

订货信息

PA4000 模块

PA4000 必须同时订购下面其中一个选项：

选项 1CH	安装一个输入模块
选项 2CH	安装两个输入模块
选项 3CH	安装三个输入模块
选项 4CH	安装四个输入模块

标配附件

--	电压线束 (每个输入模块一个)
--	特定国家电源线
063-4498-xx	包含所有相关文档和翻译后的用户手册的光盘
--	USB 主控到设备接口电缆
--	校准证明, 可以溯源美国国家计量学会和 ISO9001 质量体系认证
--	五年产品保修

仪器选项

选项 GPIB	GPIB 接口
选项 15V	用于外部电流变送器的电源输出
语言选项	没有语言选项 – 标配文档光盘中包括以英语、法语、德语、西班牙语、日语、葡萄牙语、简体中文、繁体中文、韩语和俄语提供的用户手册。

电源线选项

选项 A0	北美电源插头 (115 V, 60 Hz)
选项 A1	欧洲通用电源插头 (220 V, 50 Hz)
选项 A2	英国电源插头 (240 V, 50 Hz)
选项 A3	澳大利亚电源插头 (240 V, 50 Hz)
选项 A4	北美电源插头 (240 V, 50 Hz)
选项 A5	瑞士电源插头 (220 V, 50 Hz)
选项 A6	日本电源插头 (100 V, 110/120 V, 60 Hz)
选项 A10	中国电源插头 (50 Hz)
选项 A11	印度电源插头 (50 Hz)
选项 A12	巴西电源插头 (60 Hz)
选项 A99	没有电源线

PA4000 功率分析仪

服务选项

选项 C3	三年校准服务
选项 C5	五年校准服务
选项 D1	校准数据报告
选项 D3	三年校准数据报告 (需要选项 C3)
选项 D5	五年校准数据报告 (需要选项 C5)
选项 G3	三年全方位保障服务 (包括备用机、预约校准、等等)
选项 G5	五年全方位保障服务 (包括备用机、预约校准、等等)

推荐附件

CT-60-S	闭环电流变送器, 高精度, 高达 60 A
CT-200-S	闭环电流变送器, 高精度, 高达 200 A
CT-400-S	闭环电流变送器, 高精度, 高达 400 A
CT-1000-S	闭环电流变送器, 高精度, 高达 1000 A
CT-100-M	闭环电流变送器, 霍尔效应, 高达 100 A
CT-200-M	闭环电流变送器, 霍尔效应, 高达 200 A
CT-500-M	闭环电流变送器, 霍尔效应, 高达 500 A
CT-1000-M	闭环电流变送器, 霍尔效应, 高达 1000 A
CL200	电流钳, 1 A – 200 A, 适用于泰克电源分析仪
CL1200	电流钳, 0.1 A – 1200 A, 适用于泰克电源分析仪
PA-LEADSET	更换线束, 适用于泰克电源分析仪 (1 通道线束)

如需更详细的说明, 请参阅附件产品技术资料 #55C-29381-0。



三相电源测量基础知识

应用指南

简介

单相电用来为民用和办公电器供电，而三相交流 (a.c.) 系统则广泛用于配电及直接为功率更高的设备提供电力。

本技术指南介绍了三相系统的基本原理以及可能的不同测量连接之间的差异。

三相系统

三相电由频率相同、幅度类似的三个 AC 电压组成。每个 ac 电压“相位”与另一个 ac 电压相隔 120° (图 1)。这可以通过图形方式，使用波形和矢量图 (图 2) 进行表示。

三相电源测量基础知识

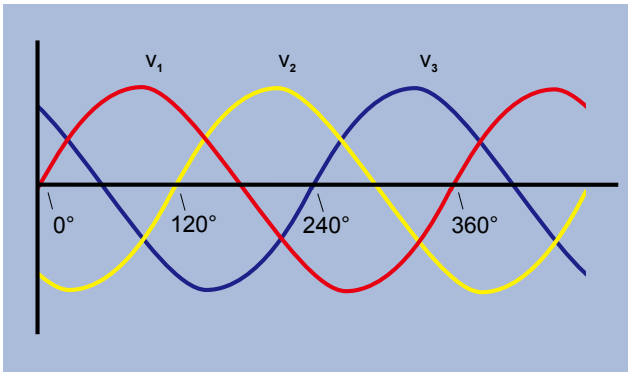


图 1. 三相电压波形

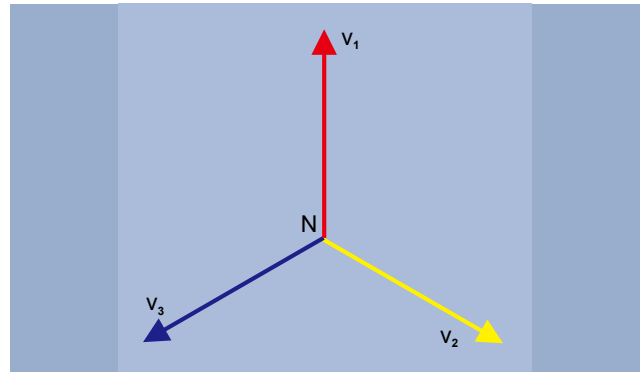


图 2. 三相电压矢量

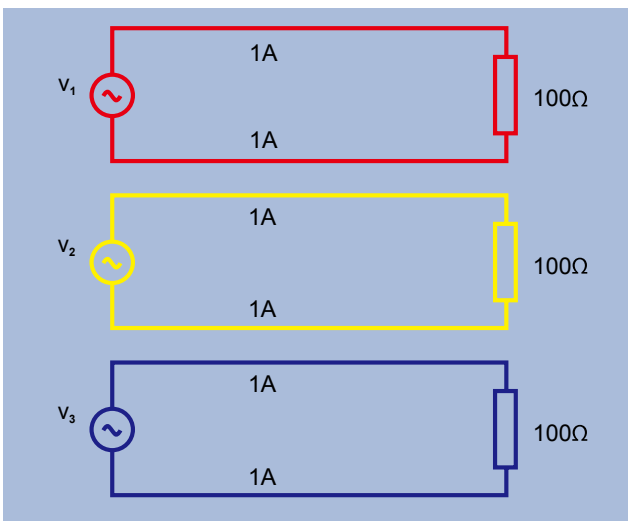


图 3. 三个单相电源 – 6 个单位损耗

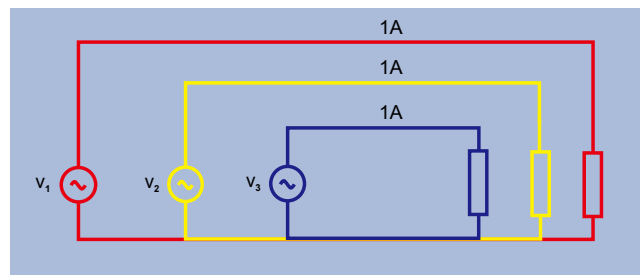


图 4. 三相电源，均衡负载 – 3 个单位损耗

使用三相系统的原因有两个：

1. 可以使用三个矢量间隔的电压，在马达中产生旋转磁场。从而可以在不需要额外绕组的情况下启动马达。
2. 三相系统可以连接到负载上，要求的铜缆连接数量（传输损耗）是其它方式的一半。

我们看看三个单相系统，每个系统为一个负载提供 100W 的功率（图 3）。总负载是 $3 \times 100\text{W} = 300\text{W}$ 。为提供电力，1 安培电流流经 6 根线，因此有 6 个单位的损耗。也可以把三个电源连接到一个公共回程上，如图 4 所示。当每个相位中的负载电流相同时，负载被认为是均衡的。在负载均衡、且三个电流相位彼此位移 120° 的情况下，任何时点上的电流之和都为零，回程线路中没有电流。

在三相 120° 系统中，要求 3 根线传送功率，而在其它方式下则要求 6 根线。要求的铜缆数量减少了一半，导线传输损耗也将减半。

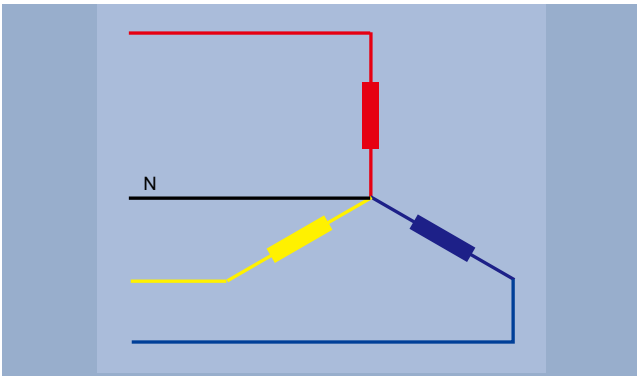


图 5. Y 形接法或星形接法 – 三相四线

Y 形接法或星形接法

拥有公共连接的三相系统通常如图 5 的示意图所示，称为“Y 形或星形”接法。

公共点称为中性点。为安全起见，这个点通常在电源上接地。在实践中，负载并不是完美均衡的，要使用第四条“中性”线传送得到的电流。如果本地法规和标准允许，中性导体可能会比三条主导体小得多。

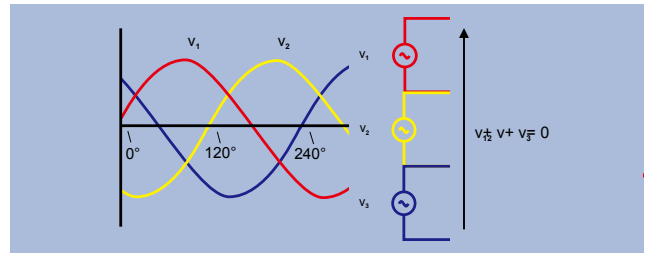


图 6. 任意时间的瞬时电压之和为零

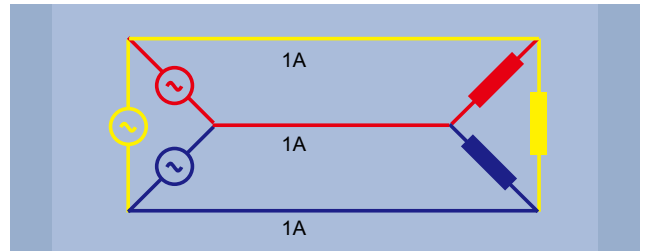


图 7. 三角形接法 – 三相三线

三角形接法

上面讨论的三个单相电源也可以串联起来。在任何时点上，三个 120° 相移电压之和都是零。如果和为零，那么两个端点都处在相同的电位，可以联接在一起。这种接法如图 7 中的示意图所示，使用希腊字母 Δ 表示，称为三角形接法。

三相电源测量基础知识

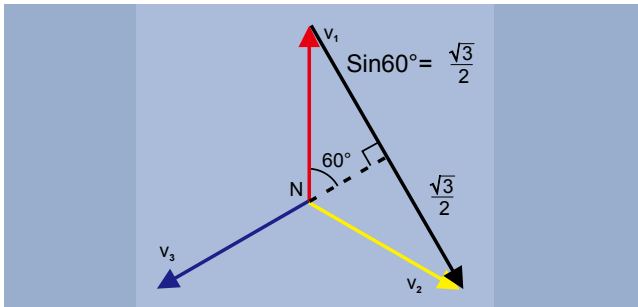


图 8. $V_{\text{phase-phase}} = \sqrt{3} \times V_{\text{phase-neutral}}$

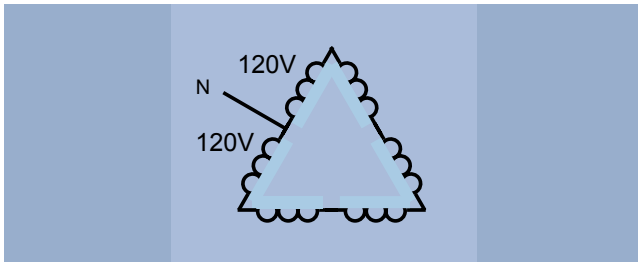


图 9. 三角形接法，采用“分相”或“中心分接”线圈

Y 形接法和三角形接法比较

Y 形接法用来为家庭和办公中使用的日常单相设备供电。单相负载连接到线路和中性线之间 Y 形的一条腿上。每个相位的总负载尽可能多地共享，以便为三相电源提供均衡负载。

Y 形接法还可以为更高电压上更高的功率负载提供单相或三相电。单相电压是相位到中性电压。另外还提供较高相间电压，如图 8 中的黑色矢量所示。

三角形接法最常用的情况是为功率较高的三相工业负载供电。然而，通过沿着变压器线圈进行连接或“分接”，可以从三相三角形电源中获得不同的电压组合。例如，在美国，240V 三角形系统可以有分相或中心分接线圈，提供两个 120V 电源（图 9）。为安全起见，中心分接点可以在变压器上接地。在中心分接点和三角形接法的第三条“高脚”之间，还提供了 208V 电压。

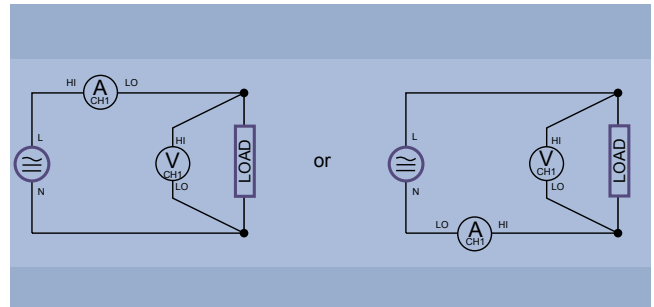


图 10. 单相双线和 DC 测量

功率测量

在交流系统中，功率使用功率表测量。现代数字采样功率表，比如任何泰克功率分析仪，把多个电压和电流的瞬时样点乘在一起，计算瞬时功率，然后取一个周期中瞬时功率的平均值，表示有功功率。功率表将在广泛的波形、频率和功率因数范围上，准确测量有功功率、视在功率、无功负载、功率因数、谐波等等。为使功率分析仪提供良好的结果，必须能够正确识别布线配置，正确连接功率分析仪。

单相功率表连接

只要求一个功率表，如图 10 所示。系统与功率表电压端子和电流端子的连接简单明了。功率表的电压端子透过负载并联，电流通过与负载串联的电流端子输入。

单相三相连接

在这个系统中，如图 11 所示，从一个中心分接的变压器线圈中产生电压，所有电压都同相。这在北美住宅应用中十分常见，其中提供了一个 240 V 电源和两个 120V 电源，在每条腿线上可能有不同的负载。为测量总功率和其它数量，应如图 11 所示连接两个功率表。

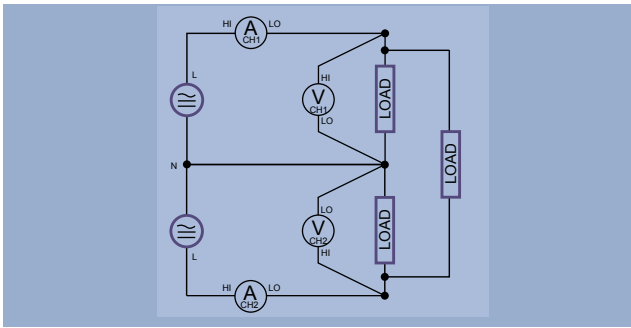


图 11. 单相三线

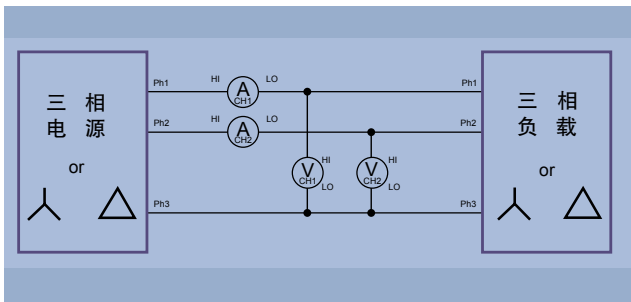


图 13. 三相三线、两个功率表方法

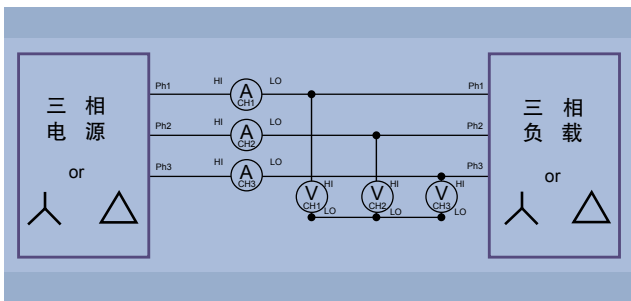


图 14. 三相三线 (三个功率表方法, 把分析仪设置成三相四线模式)

三相三线接法 – 两个功率表方法

在有三根线时，要求两个功率表测量总功率。根据图 11 所示方法连接两相到功率表的电压端子。

三相三线接法 – 三个功率表方法

如前所述，尽管测量三线系统中的总功率只要求两个功率表，但有时可以方便地使用三个功率表。在如图

布朗德尔定理： 要求的功率表数量

在单相系统中，只有两根线。功率使用一个功率表测量。在三线系统中，要求两个功率表，如图 12 所示。

一般来说，要求的功率表数量 = 线数 - 1

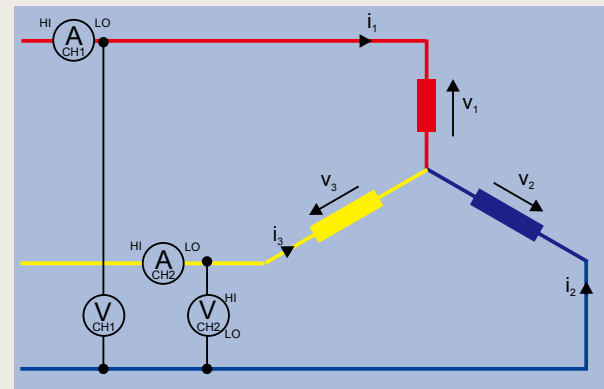


图 12. 三线 Y 形系统

验证三相 Y 形系统

功率表测量的瞬时功率是瞬时电压和电流样点之积。

$$\text{功率表 1 读数} = i_1 (v_1 - v_3)$$

$$\text{功率表 2 读数} = i_2 (v_2 - v_3)$$

$$\text{读数之和 } W_1 + W_2 = i_1 v_1 - i_1 v_3 + i_2 v_2 - i_2 v_3$$

$$= i_1 v_1 + i_2 v_2 - (i_1 + i_2) v_3$$

(根据基尔霍夫定律, $i_1 + i_2 + i_3 = 0$, so $i_1 + i_2 = -i_3$)

$$2 \text{ 个读数 } W_1 + W_2 = i_1 v_1 + i_2 v_2 + i_3 v_3 = \text{总瞬时功率。}$$

11 所示的接法中，通过把所有三个功率表的电压低端子连接在一起，创建一个假中性线。

三线三个功率表的接法的优势在于，它指明每一个相的功率（这在两个功率表的接法中是不可能的）以及相到中线电压。

三相电源测量基础知识

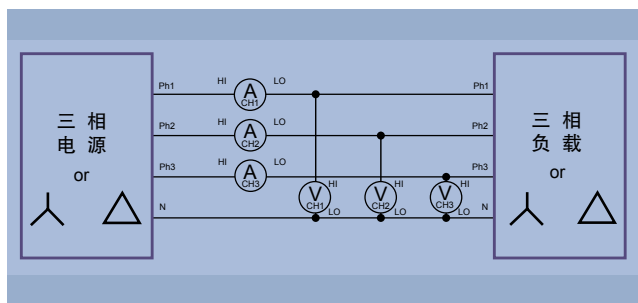


图 15. 三相四线 (三个功率表方法)

三相四线接法

测量四线系统中的总功率要求三个功率表。测得的电压是真实的相电压。通过使用矢量数学运算，可以从相电压的幅度和相位中准确地计算出相间电压。现代电源分析仪也使用基尔霍尔定律，计算流过中线的电流。

配置测量设备

如侧栏所示，在线数一定 (N) 时，要求 N-1 个功率表测量整体电能质量，如功率。必须确保拥有足够数量的通道，且正确连接。

现代多通道功率分析仪将使用相应的内置公式，直接计算整体电能质量，如瓦特、伏特、安培、伏安和功率因数。公式根据布线配置选择，因此设置布线对获得良好的总功率测量至关重要。拥有矢量功能的功率分析仪还将把相电压 (或 Y 形) 分量转换成线电压 (或三角形) 分量。只能使用因数 $\sqrt{3}$ ，实现系统间转换，或对均衡线性系统上只有一个功率表的测量定标。

了解布线配置、正确进行连接对功率测量至关重要。熟悉常用的布线系统，记住布朗德尔定理，将帮助您获得相应的连接以及可以依赖的结果。



AC INPUT			GROUP C		
Ch3			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
Freq	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
- 有功功率
- 视在功率
- 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，您将有更好的准备，解释对您设计的相关测量项目。

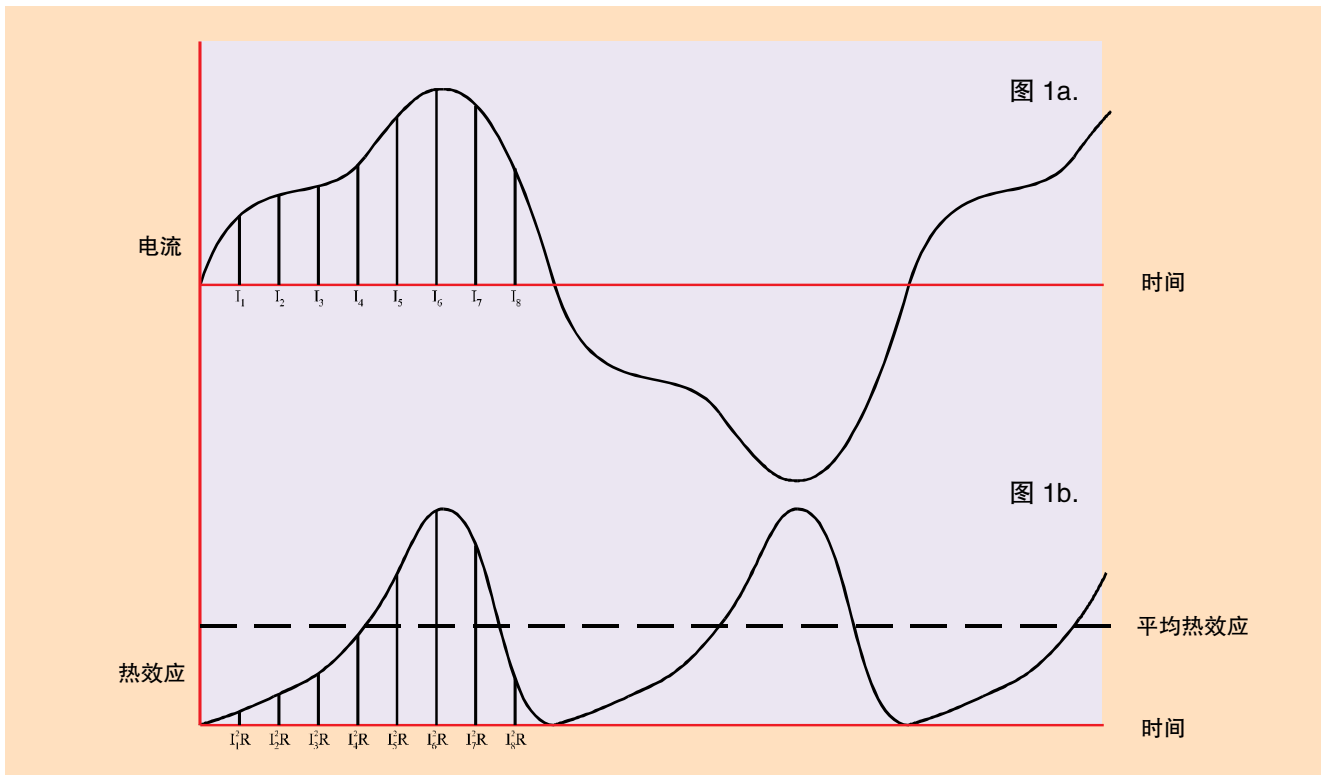


图 1

RMS (均方根值)

RMS 值是评价 AC 电压和电流值最常用、最实用的指标。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。

如果这个电流通过一个电阻，那么应通过下面的公式得出任何时点上的热效应：

$$W = I^2R$$

通过把电流周期分割到等间隔的坐标中，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：

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

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：

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

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

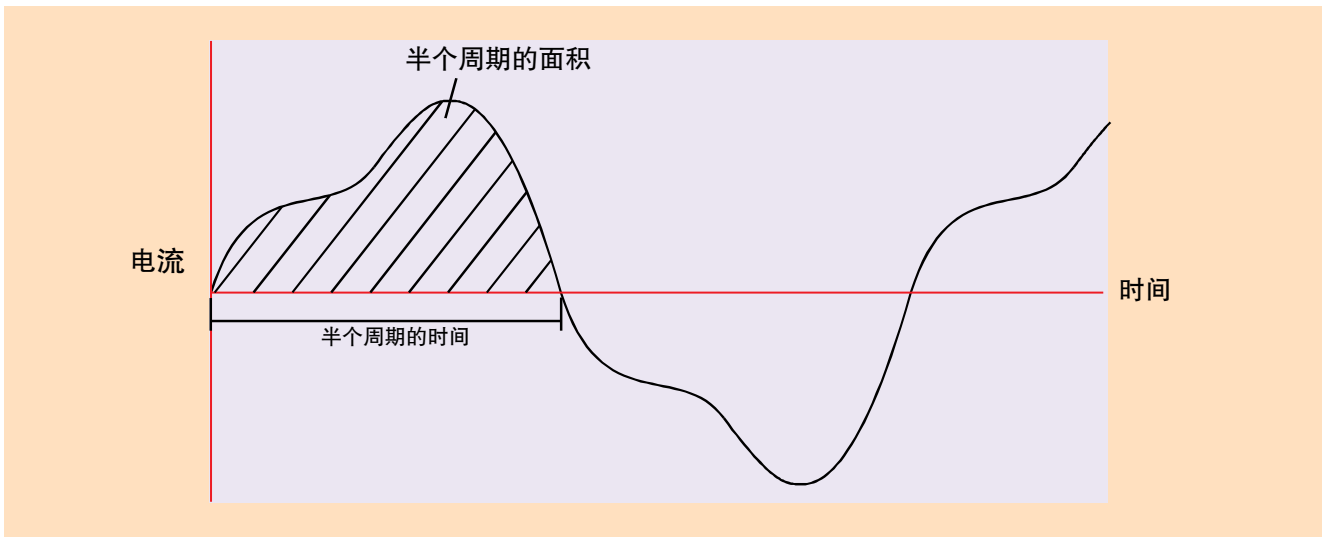


图 2

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。大多简单的万用表使用 AC 波形的全波整流来确定 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、功率分析仪和高端万用表直接测量 RMS 值，而不是根据校正后的波形推断这些值。

交流电源测量基础知识

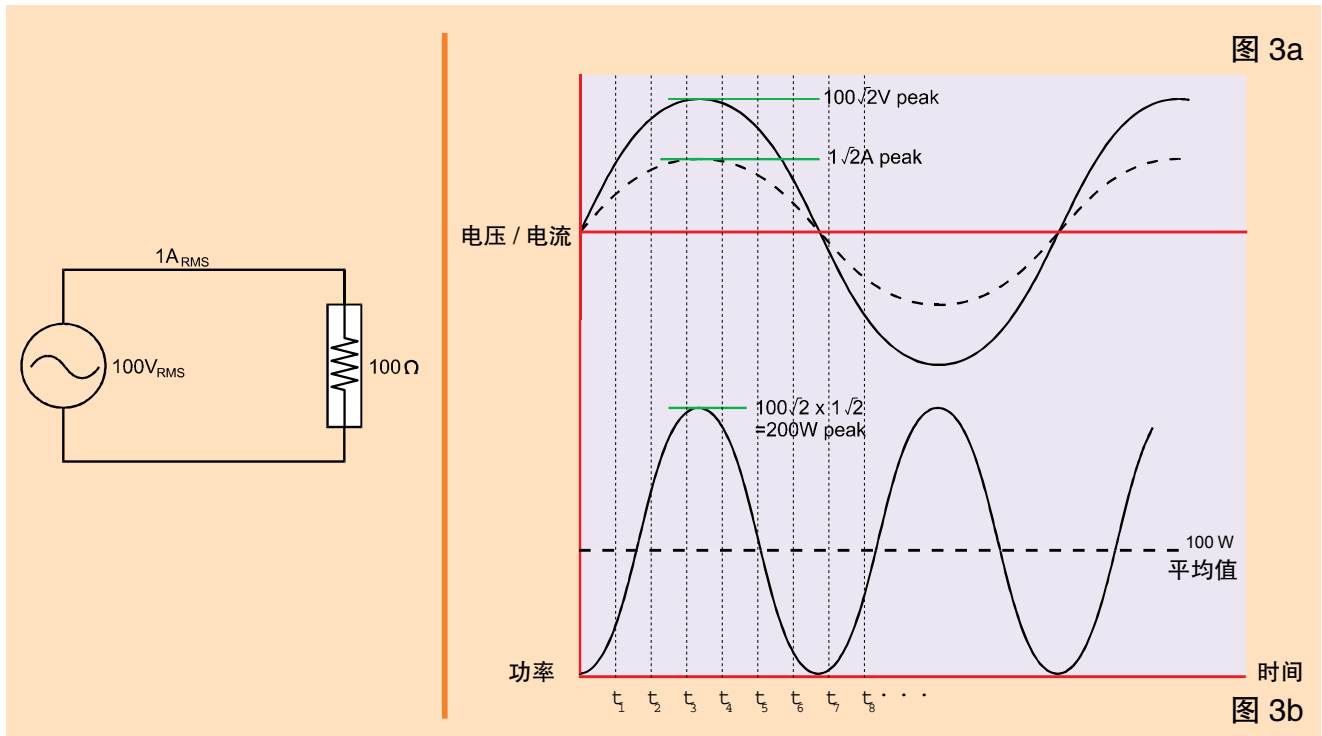


图 3

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

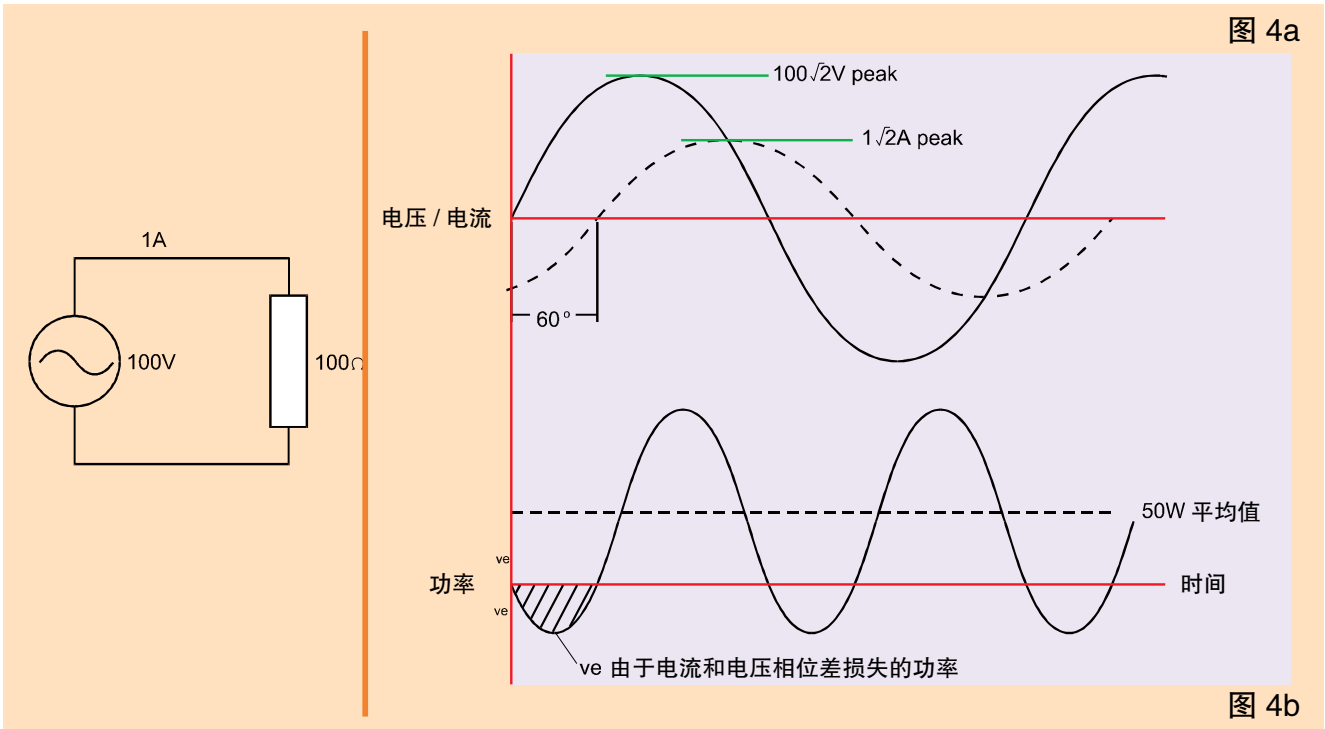


图 4

现在我们看一下更加有功的负载。现实世界负载都有感抗的，也就是说，它们同时具有感抗和容抗及电阻。例如，我们假设有一个负载，它由电阻和显性电感结合在一起构成 $100\ \Omega$ 阻抗。电流流量仍是 $1\ A_{RMS}$ ，但电流相位不再与电压同相，如图 4a 所示，其中电流滞后电压 60° 。

尽管功率持续以供电频率的两倍波动，但现实中它只在每半个周期的一部分从电源流向负载，而在其余部分，它实际上是从负载流向电源。

流入负载的平均功率要比图 4b 显示电阻负载两端功率小得多，如图 4b 所示—只有 50W 的有用功率（即有功功率）传送到有感负载中。

交流电源测量基础知识

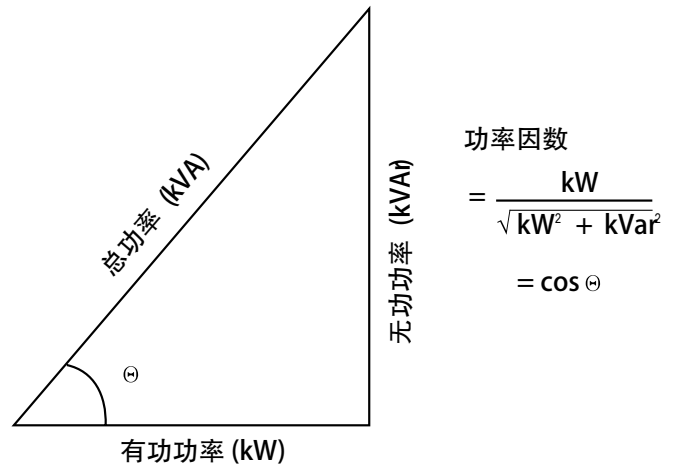
为确定有功功率，我们使用与第一个实例相同的技术。我们同时测量波形多个点的电压和电流，把这些值相乘，然后取平均值。不管相移或波形如何，这种有功功率计算方法都是有效的。

在上面两种情况下，RMS 电压都等于 $100V_{RMS}$ ，电流为 $1A_{RMS}$ 。但在有感负载情况下，有功功率不等于 $V_{RMS} \times I_{RMS}$ 。也就是说，负载为执行工作提供了 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：

$$\text{视在功率} = V_{rms} \times A_{rms}$$

有时，我们应该考虑视在功率和有功功率差异。视在功率和有功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，假设视在功率、有功功率和无功功率构成一个直角三角形，其中视在功率是最长的边 (直角三角形的斜边)。因此：

$$\text{无功功率} = \sqrt{\text{视在功率}^2 - \text{有功功率}^2}$$



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。

传送的有功功率在一定程度上取决于负载的特点。在知道 RMS 电压和电流时，是不可能确定有功功率值的。这只能通过使用真正的交流功率计或示波器来实现 (如评估热损耗或效率)，交流功率计或示波器能够瞬时计算电压和电流值之积，并显示结果的 mean 值。

功率因数

现在应该明确，与 DC 系统相比，除纯电阻负载外，传送的 AC 功率并不是简单的 RMS 电压值和 RMS 电流值之积。表达视在功率和有功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有功功率和视在功率之间的简单比率。这一比率称为功率因数，公式如下：

功率因数 = 有功功率 / 视在功率

在前面的实例中，有功功率 (50 W) 是视在功率 (100 VA) 的一半，所以我们说，功率因数是 0.5 或 50%。(注意功率因数是没单位)

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 (θ) 的余弦。例如，对前面介绍的电感负载，电流滞后电压 60° 。

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。真实的功率因数仪表能计算上面介绍的有功功率与视在功率之比。

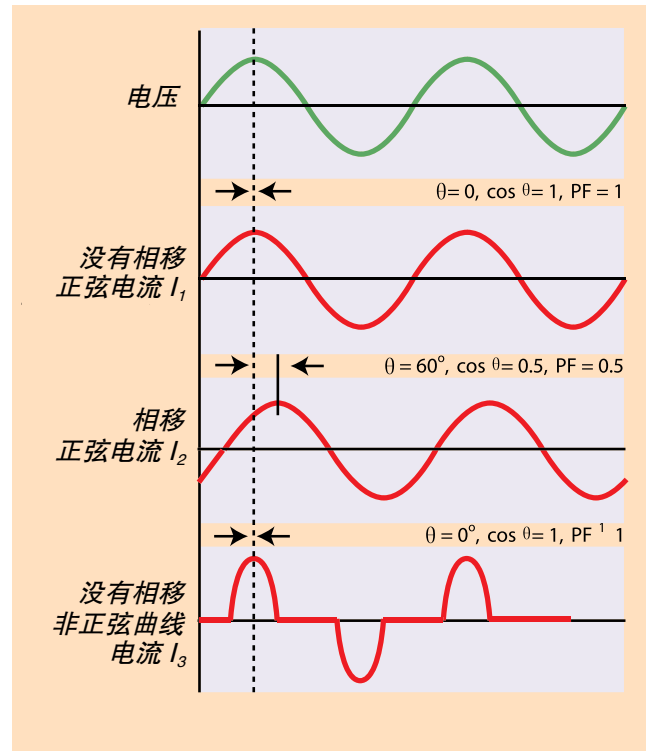


图 5

交流电源测量基础知识

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：

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

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载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）为负载供电时，其相关度特别高。因此很明确，在涉及 AC 设备时，非常必要的里了解电流的波峰因数及其 RMS 电流。

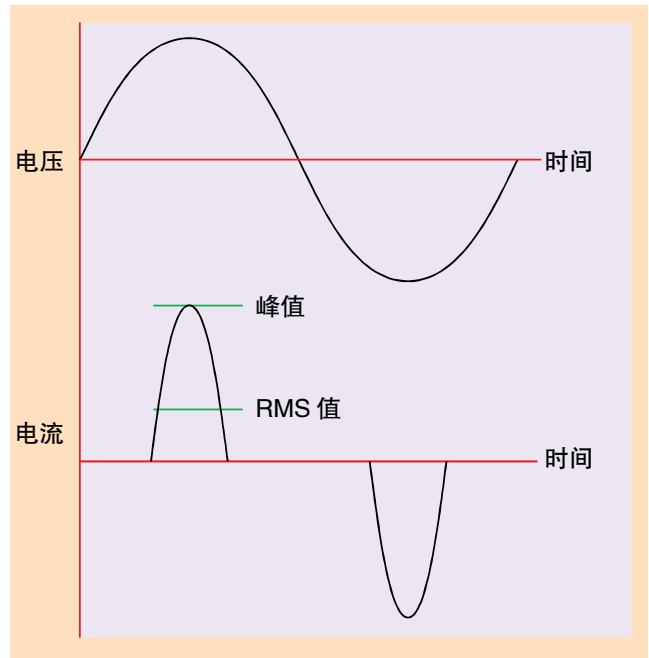


图 6

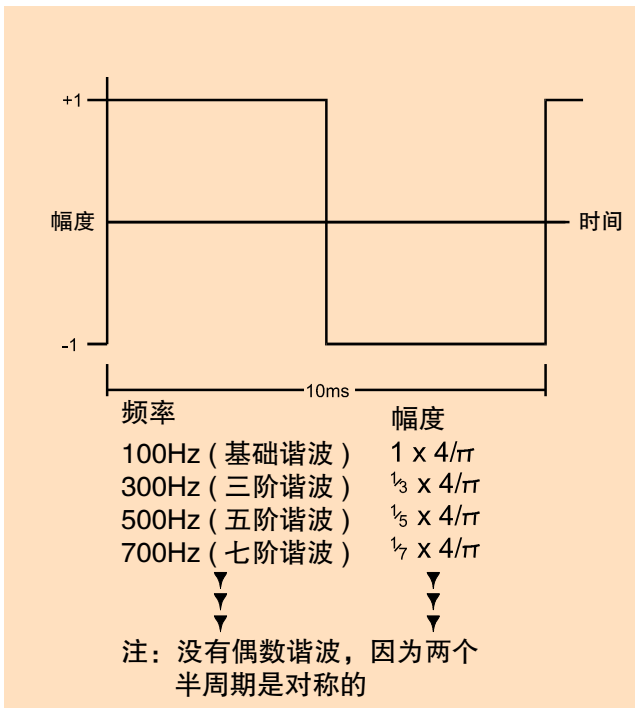


图 7

谐波失真

如果负载引入电流波形失真，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，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。

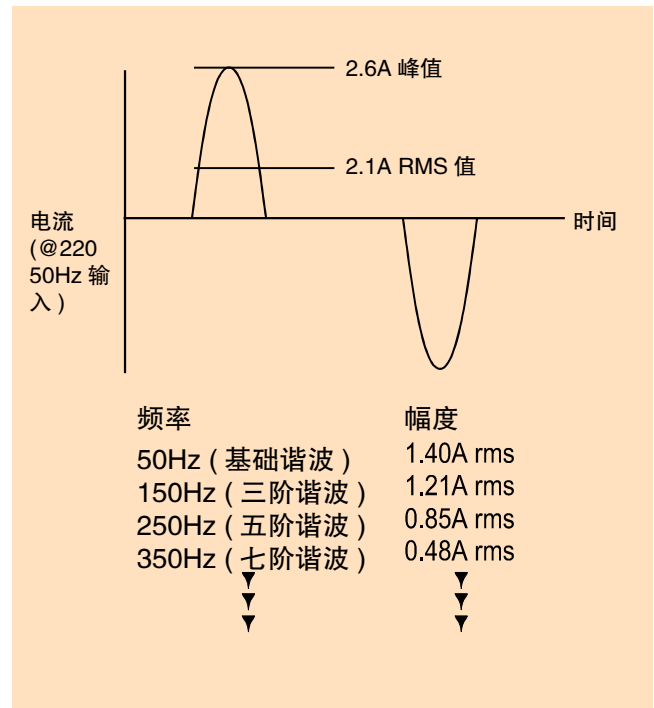


图 8

人们日益认识到，必需限制设备产生的谐波水平。许多地区都有控制措施，对某些负载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。



MEAS	UNIT	VAL	UNIT	VAL	UNIT	UNIT
Vrms	204.83	V	20			
A Arms	11.015	A	10			
kVA Watt	863.49	W	1.7			
VA	2.2561	kVA	2.2			
freq	60.566	Hz	60			
kMPF	0.3827		0.7			

脉宽调制 (PWM) 马达驱动器电源分析

应用指南

概述

自电机工程诞生以来，三相交流马达一直是工业领域的主力。它们可靠、高效、费效比高，需要少量维修或根本不需要维修。此外，交流马达（如感应马达和磁阻马达）无需与转子的电气连接，因此很容易实现阻燃，用于危险环境（如矿山）。

为了提供适当的交流马达速度控制，必须为马达提供三相电源，其电压和频率可以变化。这种电源将在定子中形成一个变速旋转磁场，使得转子按照所需的速度旋转，且滑动很小，如图 1 所示。这个交流马达驱动器可以高效提供从零速到全速的全转矩，如果需要的话，还可以超速，而且通过改变相位旋转，可以很容易使马达双向运转。具有这些特点的驱动器称作脉宽调制马达驱动器。

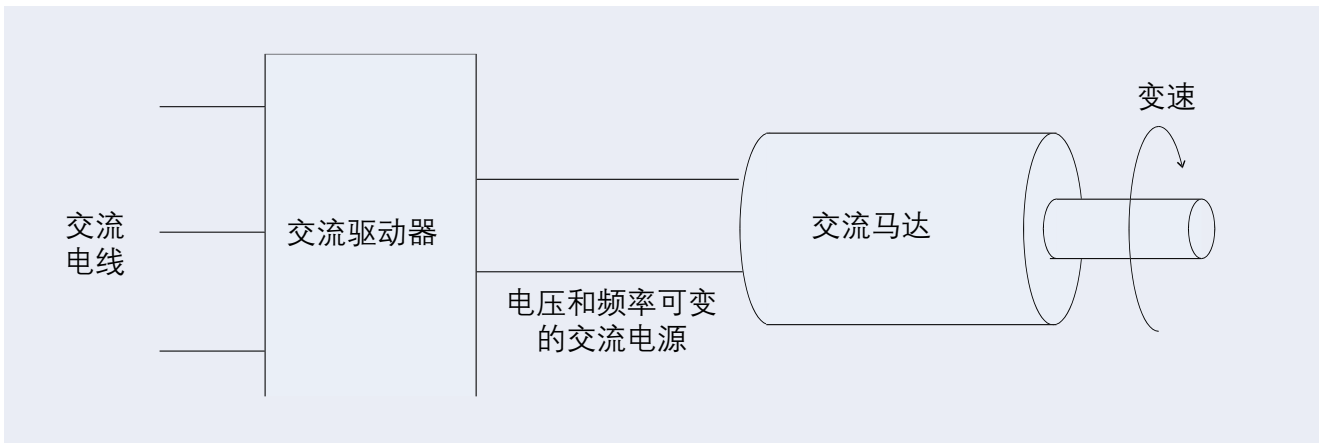


图 1 . 交流马达驱动系统示意图。

虽然人们在多年前就已经理解脉宽调制驱动器的原理，但功率半导体、控制电子设备及微处理器技术的进步极大地刺激了这种驱动器的使用。矢量控制方法的使用又进一步加速了这一态势，该方法使得交流驱动器具有全直流马达驱动器的能力和灵活性。目前，脉宽调制马达驱动器正成为变速马达控制的主流方

法，不仅用于工业领域，还用于电动汽车和家用空调等多种场合。

脉宽调制驱动器可以生成复杂波形，如在到马达的输出上，以及到驱动器的电源上。本应用指南旨在说明常见的驱动器电气测量。

脉宽调制 (PWM) 马达驱动器电源分析

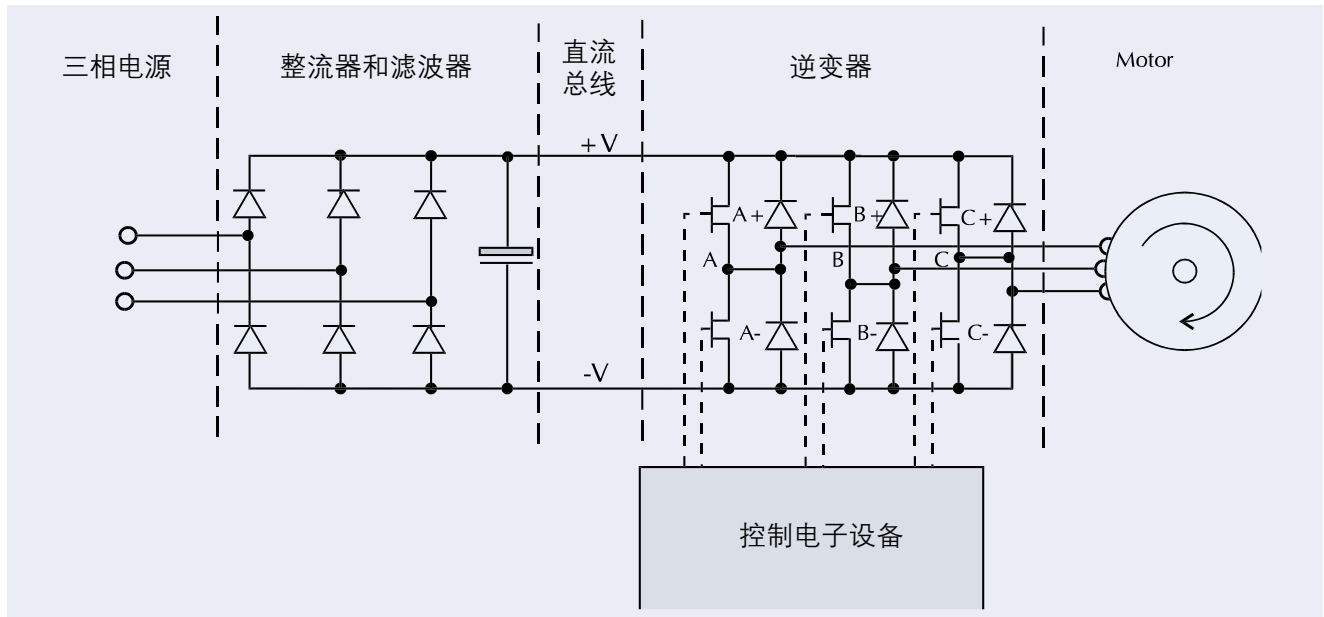


图 2 . 脉宽调制 (PWM) 马达驱动器。

2. 脉宽调制马达驱动器原理

图 2 给出了脉宽调制马达驱动器基本组成要素的示意图。

三相电源经过整流和滤波后，产生直流总线，为驱动器的逆变器部分提供电源。逆变器由 3 对半导体开关（MOSFET、GTO、功率晶体管、IGBT 等）及相关二极管组成。每对开关为马达的一个相位提供功率输出。

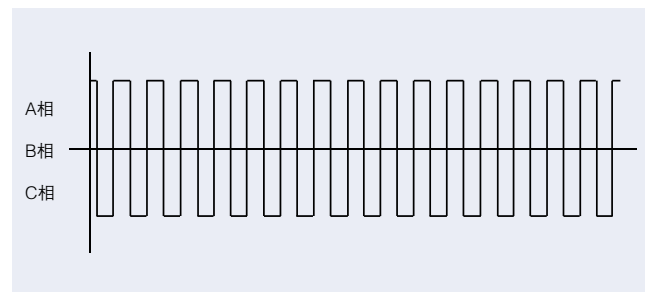


图 3 . 每相输出的载波脉冲波形。

每对半导体开关由控制电子设备驱动。图 3 所给出在每相输出端生成的高频方波载波。



图 4. 所有三相的相同脉冲波形导致零电压。

如图 4 所示，在所有三个相位，载波脉冲波形是相同的，因此，马达绕组任意两相间的净电压为零，因为载波为零。

据称，载波是未调制的，且没有向马达施加驱动电源。

为了驱动马达，控制电子设备生成三个低频正弦波，相位互差 120° ，分别对每对开关的载波脉冲进行调制。在每个载波周期内，正脉冲和负脉冲的宽度是按照该相位低频正弦波的幅度进行调制的，如图 5a 和 5b 所示。

马达绕组两端电压是图 5a 和 5b 中所示的电压波形之差，如图 6 所示。

您会发现，马达绕组平均电压近似为正弦，马达绕组其他两相平均电压相差均值也是 120° 。

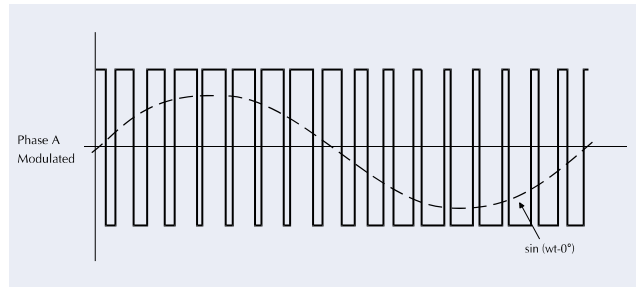


图 5a. 经调制的载波波形。

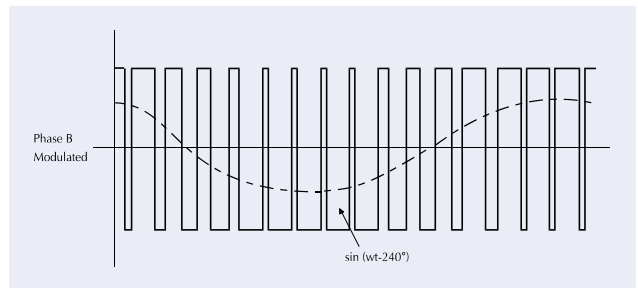


图 5b. 经调制的载波波形。

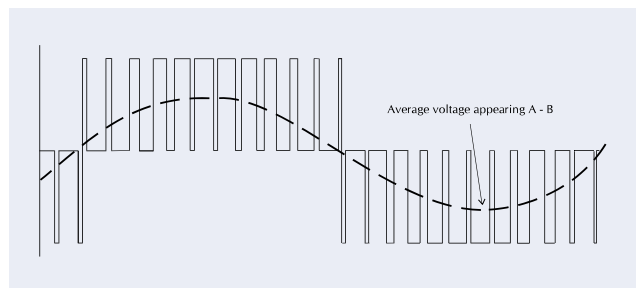


图 6. 一个马达绕组两端的净电压。

脉宽调制 (PWM) 马达驱动器电源分析

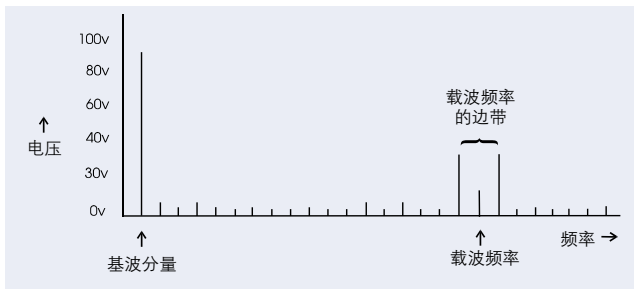


图 7. 调制电压波形的频谱。

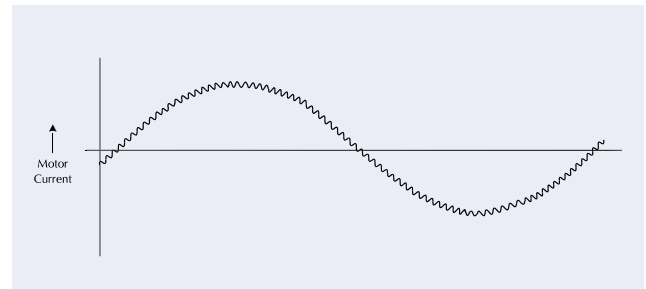


图 8. 正弦波输出电流波形。

虽然向马达绕组施加的脉宽调制电压波形包含所需频率的分量，但其中也包含许多频率更高的其他分量。例如，图 6 中相 - 相波形的频谱就是如此，如图 7 所示。幸运的是，马达在很大程度上可以看作逆变器输出电压的电感。由于电感对较高频率具有更高的阻抗，因此马达吸收的大部分电流在脉宽调制输出波形中属于

较低频率分量，如图 8 所示。其结果是，马达吸收的电流近似为正弦波。

通过控制调制波形的振幅和频率，脉宽调制驱动器能够以所需的电压和频率向马达输出三相电源，以所需的任意速度驱动马达运转。

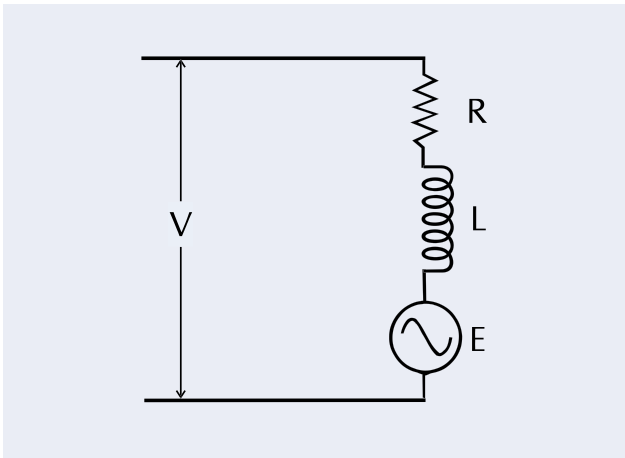


图 9. 马达单相等效电路。

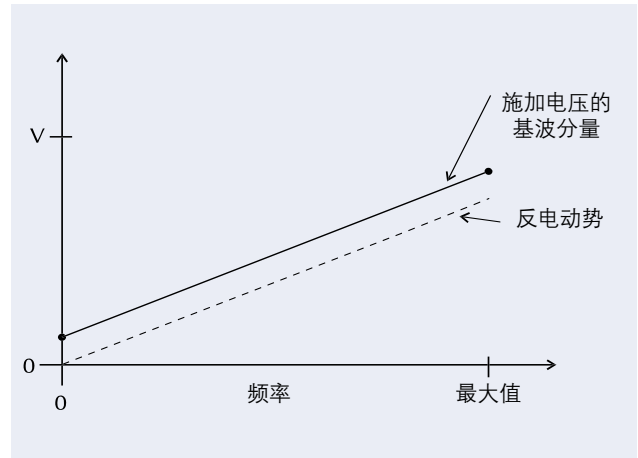


图 10. 驱动器电压 / 频率特性。

3. 脉宽调制马达驱动器的电气特性

电压 – 频率关系

考虑简化的马达单相等效电路，可以很好地理解脉宽调制马达驱动器的特性，如图 9 所示。

在这个电路中， R 和 L 分别代表从电源角度看到的马达电阻和电感， E 代表马达旋转产生的反电动势。

反电动势的量级及其频率与马达转速成正比。因此，脉宽调制驱动器必须调节电压和频率，以调节转速，并使得输出电压稍稍高出反电动势，迫使电流通过 R 和 L 的阻抗。实际上，驱动器电子器件必须生成如图 10 所示的电压 / 频率特性。这个特性中的偏移量是为了克服该阻抗中的电压降，从而使驱动器在较低转速甚至零转速能够提供所需的电流。

脉宽调制 (PWM) 马达驱动器电源分析

高载波频率	
优点	缺点
马达损耗更低 (电流更接近正弦波) 无可闻噪声	逆变器中开关损耗更高 有可能发出更多的 射频噪声

表 1. 高载波频率优缺点

载波频率的选择

大部分脉宽调制驱动器工作在固定的载波频率，其频率比使用的最高输出频率高几倍。由于工业驱动器工作的输出频率从几赫兹到大约 100 Hz，它们使用的载波频率范围是 2 kHz ~ 10 kHz。

随着功率半导体的改进，其趋势是将载波频率增加至超声波频率 (> 18 kHz)，这带来了优势和不足，参见表 1。

因此，载波频率的选择是一种折中，必须对驱动器的输入和输出进行认真测量，才能做出最佳选择。

脉宽调制输出中谐波和载波频率分量的影响

虽然脉宽调制输出电压包含大量基波分量以外的频率分量，但这些分量的频率一般较高，马达绕组阻抗可以抑制这些分量。

不过，从图 9 的等效电路可以看出，马达不是简单的电感，它也产生反电动势。

遗憾的是，由于马达生成的反电动势在基频是正弦电

压，因此它在谐波和更高频率不提供反向电流。出于这个原因，同马达是纯电感情况下的基波电流相比，这些电流更高。

因此，重要的是，载波电流设计要在绕组中尽可能生成正弦电流。特别是，必须最大限度地减少生成的低阶谐波电压电平，因为马达对这些电压的阻抗非常低。在实践中，驱动器将在马达中生成：

- 基频处“有用”的电流分量
- 在基频数倍频率处“无用的”电流分量（谐波），以及在载频相关频率处的电流分量。

在马达电流中“无用”电流分量对马达的影响有两个，它们是：

- 非基波电流分量代表马达定子和转子绕组中的额外电流，将产生热量，并降低马达效率。
- “无用的”电流分量将在定子中生成磁场，可能包含负相或零相序列，形成复转矩或制动转矩。这可能大幅降低马达可用功率数量。

通过测量逆变器中基波输出功率和总输出功率、对电压和电流波形进行谐波分析以及对马达转矩 / 速度进行测量，可以分析马达运行期间无用电流分量的影响。

提供给马达的唯一有用功率是在基频处。与谐波或载波频率有关的任何功率都不会有助于马达的有用功。最高效的脉宽调制驱动器不仅使逆变器损耗最小化，而且生成最纯的电流波形，把马达本身的功率和转矩损耗降到最低。

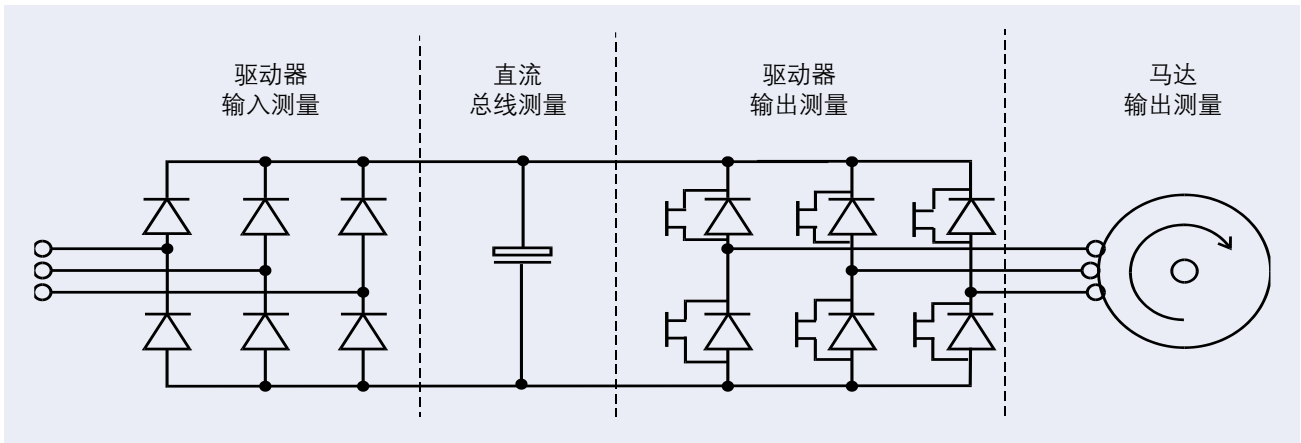


图 11. 脉宽调制驱动器及马达系统内部测量阶段。

驱动阶段	参数	应用指南部分
马达输出测量	速度、转矩、轴功率	第 5 部分
驱动器输出测量	整体输出功率和功率因数 基本输出功率和射频 输出电压和电流有效值 基本输出电压和电流 谐波电压、电流和功率 输出频率	第 6 部分
驱动器直流总线测量	直流总线电压、电流和功率	第 7 部分
驱动器输入测量	输入电压和电流 输入功率和功率因数 输入 VA 和 VAR 输入谐波电流 (包括检查 EC61000-3-2 标准的谐波规范)	第 8 部分
效率测量	脉宽调制驱动器每部分的效率、马达效率及整体效率	第 9 部分
进行连接	将功率分析仪与脉宽调制驱动器进行连接	第 10 部分
在动态负载条件下测量	实时模拟输出表示驱动器输出的电压、电流、功率和功率因数	第 11 部分

表 2. 常见的脉宽调制马达驱动器测量

4. 对脉宽调制马达驱动器的测量

表 2 给出了脉宽调制马达驱动器的典型测量。

脉宽调制 (PWM) 马达驱动器电源分析

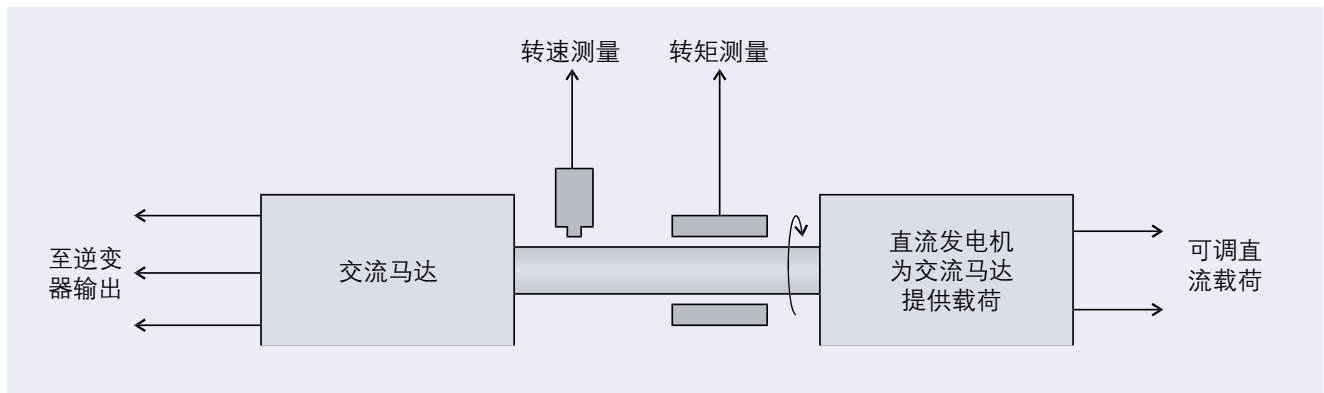


图 12. 马达输出测量。

5. 马达输出测量

图 12 说明,通过在马达输出轴安装转速和转矩传感器,可以对马达输出进行测量。

5.1 转矩和转速传感器

转矩和转速传感器生成的电信号与转矩和转速成正比。通过测量这些信号,可以确定马达的转速和转矩,从这些测量结果中可以计算马达输出功率:

5.2 转矩

马达转矩是在其输出轴上形成的旋转力,它是一个扭力,其单位是牛顿米 (Nm) 或英尺磅 (1 英尺磅 = 1.3558 Nm)。对于小型马达而言,其转矩额定值低于 1 Nm;对于大型马达而言,其转矩额定值达到几千 Nm。

通过旋转应变计以及利用固定接近、磁致伸缩和磁弹性传感器,可以测量转矩。这些传感器都是温度敏感型的。旋转传感器必须安装在转轴上,由于空间受限,这并非总能行得通。

为测量转矩,应变计往往直接安装在转轴上。由于转轴旋转,转矩传感器必须通过滑环、无线通信或电感耦合与外边世界耦合。

5.3 转速

马达转速通常以每分钟转速 (RPM) 来描述,即它在 1 分钟内沿固定轴旋转的完整圈数。

转速传感器输出可能是一个与转速成正比的模拟电压。更普遍的是,转速传感器输出是一个由马达转轴上圆盘生成的 TTL 脉冲。通过测量 TTL 信号频率,并应用比例因数,可以确定马达转速。

例如,如果转盘每转一圈生成 n 个脉冲,那么每分钟转速 (RPM) 可以计算为:

$$\text{转速} = f \times \frac{60}{n}$$

5.4 实现转矩和转速测量与电气测量相结合

为了确定马达和驱动器组合的效率,必须考虑系统的电气输入以及在马达输出端生成的机械功率。马达输出功率是转矩和转速的乘积:

$$\begin{aligned} \text{马达输出功率 (W)} &= \text{转矩 (Nm)} \times \text{转速 (弧度 / 秒)} \\ &= \text{转矩 (Nm)} \times \text{转速 (RPM)} \times \frac{\pi}{30} \end{aligned}$$

注意: 1ft-lb=1.3558Nm (牛顿米)

1HP=745.7W

通过以下公式,可以计算系统效率:

$$\eta = \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}} \times 100\%$$

为了进行这些测量,PA4000 包括传感器输入端,用于连接转矩和转速传感器。通过测量驱动器输入端消耗的电力、以及马达输出端的转矩和转速,使用一台仪器就可以测量出系统效率。

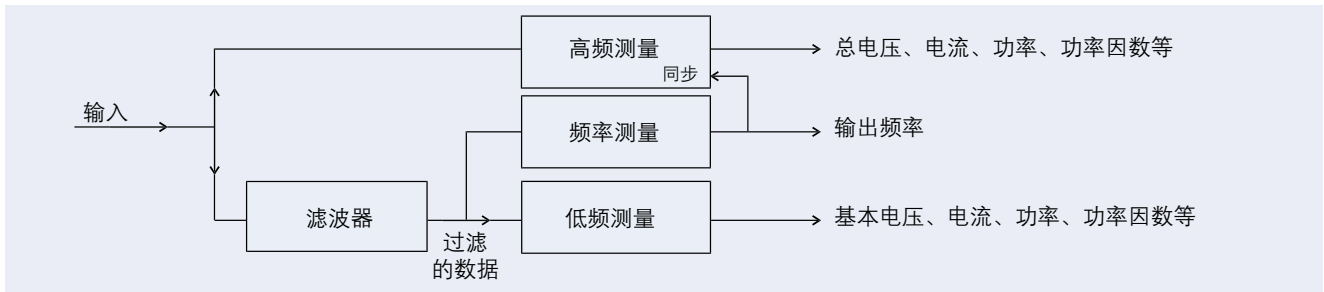


图 13. 高精度 PA4000 测量技术。

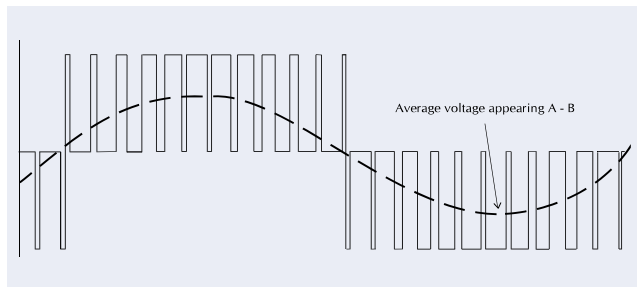


图 14. 测得的一个马达绕组两端的净电压。

6. 驱动器输出测量

脉宽调制驱动器的输出波形非常复杂，由一系列高频分量（因载波）和低频分量（因基波）组合而成。

对大多数功率分析仪来说，这带来的问题是：如果在高频测量，那么波形中的低频信息将丢失；如果滤除脉宽调制波形在低频测量，那么高频数据将丢失。

这个难题的出现是因为在低频对波形进行调制。因此，高频测量（如总电压有效值、总功率等）必须在高频处进行，但必须超出输出波形低频分量的整数倍。

滤波器	应用
5Hz ~ 500Hz	低至 5Hz 输出的脉宽调制驱动器
0.5Hz ~ 25Hz	低至 0.5Hz 的低速测量
0.1Hz ~ 25Hz	低至 0.1Hz 的极低速测量

表 3. 脉宽调制马达驱动器系统内不同频率范围应用的滤波器

泰克 PA4000 功率分析仪利用脉宽调制输出测量的特殊工作模式克服了这个难题。它对数据进行高速采样，并实时计算总体数量，包括所有谐波和载波分量。与此同时，对采样数据进行数字化滤波，提供低频测量，如输出频率的基波分量和测量。

除了从同一测量中获得低频和高频结构外，该技术允许高频测量与低频信号同步，这是提供精确和稳定的高频测量结果的唯一方法。

根据测量的输出频率范围，滤波器的选择方案有 3 种，参见表 3。

滤波器的选择并不影响较高频率分量的测量，因为这些测量是通过未经过滤的数据进行的。不过，为了优化低频测量结果，您应当为应用选择正确的滤波器。

脉宽调制 (PWM) 马达驱动器电源分析

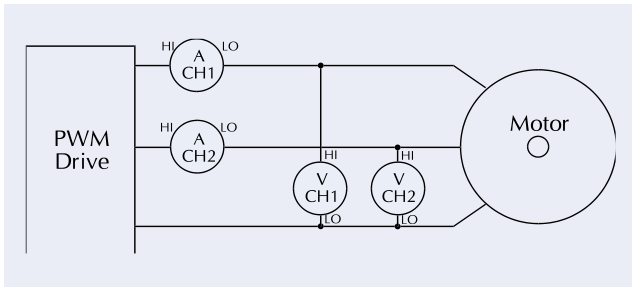


图 15. PA4000A\ 输出测量。

6.1 使用 PA4000 示波器测量驱动器输出

该仪器通过三相三线配置连接至输出。(又称作两表法。关于两表法的更多信息,请参见应用指南:三相测量原理。)对于输出电流高达 30A 的脉宽调制驱动器,PA4000 可以通过其内部电流分流器,直接与驱动器输出相连,如图 15 所示。

对于输出电流超过 30 A 的脉宽调制驱动器,您可以使用外部电流传感器或外部电流分流器。泰克公司提供多种固定核心电流传感器,最高电流达 1000 A。这些传感器包括电缆,实现与 PA4000 的快速连接,并利用仪器的 15 V 直流电源。当 PA4000 功率分析仪与外部分流器一起使用时,您可以将分流器与外部分流电压输入相连。这些输入可以测量从 X V 到 Y V 的分流输出。对于电流传感器和外部分流器,重要的是,记住正确设置缩放比例。

特别是对于低电流驱动器,如果可能,应当将 PA4000 直接与脉宽调制输出端相连。这是因为,尽管交流电流变压器和霍尔效应电流传感器在较高电流时提供良好的精度,但对于几安培的较低电流,其结果精度往往较差。

尽管在脉宽调制驱动器输出端出现极高的共模电压,为了从电流分流器得到优异的结果,PA4000 输入电路已经优化。分流器两端电压可能只有几毫伏,但分流器电势相对于接地端上下波动幅度高达数百伏,每微秒高达数千伏。

虽然采用两表法时,PA4000 只有两个通道用于测量,但该仪器将以矢量方式计算和显示第三条(非测量)线路的电流值。这将为权衡负载提供有价值的检查。此外,由于两表法不需要分析仪的第三个通道,它可以用作独立的测量通道,如测量脉宽调制驱动器内的直流总线,详见第 7 部分介绍。

一旦分析仪进行连接和配置完毕,它将利用选定的滤波器测量驱动器输出功率。如果 PA4000 测量频率有困难,应确保已经指定正确的滤波器频率范围。

注意, V_{rms} 、 A_{rms} 和功率数字是通过预过滤值测得的,因此包括所有的高频分量,其中基波值只考虑对马达有有用的贡献。电压有效值与基波电压存在显著差异是很正常的。通常,在电流和功率之间的差异较小,因为感应马达对电流进行了过滤。

通过 SUM 通道读取的总功率和基波功率之间的差异,可以估算高频损耗。这代表脉宽调制驱动器提供的电力,这部分电力对机械输出功率没有贡献,因此增加了马达的热量:

$$\text{高频损耗} = \text{总功率} - \text{基波功率}$$

当进行脉宽调制驱动器比较时,这是非常有意义的测量。

7. 驱动器直流总线测量

虽然脉宽调制驱动器输入和输出之间的连接称为直流总线，但这个总线上的电压和电流远非纯直流，因此，在进行所需的测量时必须小心谨慎。

直流总线测量最好在存储电容器输入端进行，如图 16 所示，因为从本质上讲，这里的电流是来自交流电源的低频电容器充电脉冲，是从逆变器吸收的高频电流脉冲中释放出来的。

如果独立进行直流总线测量，可以利用分析仪的 CH1(通道 1)。不过，直流总线测量往往与驱动器输入或输出的三相二线测量一起进行。在这种情况下，应当使用剩余独立运行通道中某个通道对直流总线进行测量。

例如，将 CH1 和 CH2 连接，进行输入或输出测量，详见本应用指南第 6 部分和第 8 部分。CH3 与直流总线相连，如图 16 所示。使用 F[7] 选择脉宽调制马达驱动器输入或输出模式，并启动独立的 CH3。

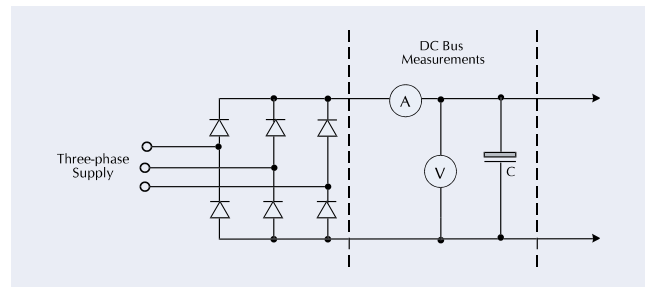


图 16. 设置直流总线测量。

测量	原因
W	直流总线总功率，可以用于效率计算
Arms	直流总线中的充电电流有效值，用于加工导体或保险丝
AH0	直流总线中电流的直流分量，比 Arms 小
VH0	存储电容器的平均电压
Vpk	存储电容器的峰值电压

表 4. 直流总线关键测量参数

脉宽调制 (PWM) 马达驱动器电源分析

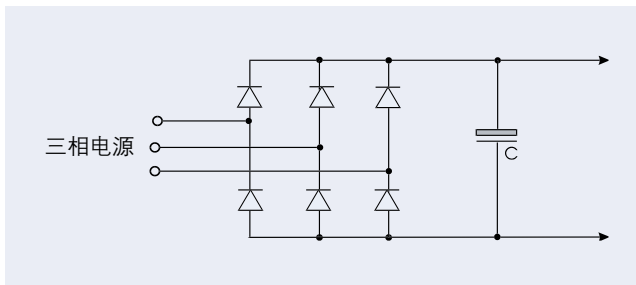


图 17. 脉宽调制驱动器的输入整流器和滤波器级。

8. 驱动器输入测量

从本质上讲，大多数脉宽调制马达驱动器输入电路是三相二极管整流桥，并包含电容滤波器，如图 17 所示。

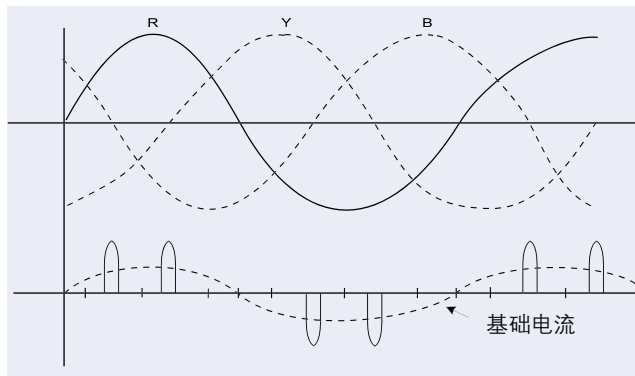


图 18. 脉宽调制驱动器输入端电压和电流波形。



图 19. 未经调制的输入电流波形。

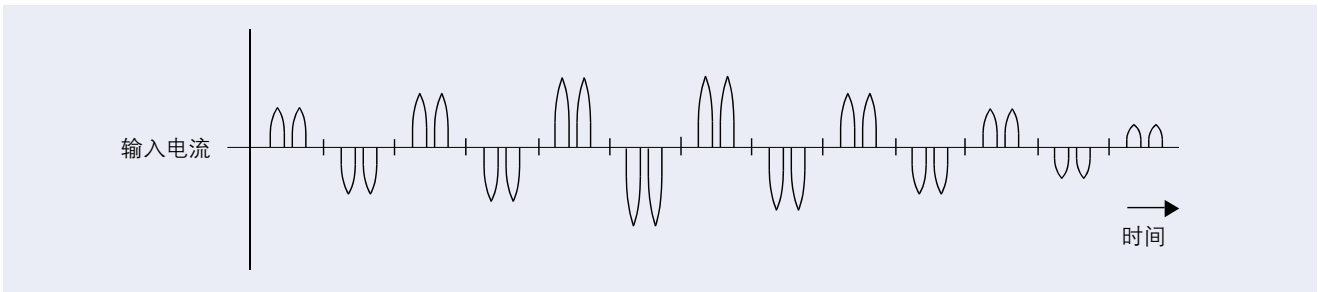


图 20. 在输出频率处进行调制的输入电流波形。

每个输入相的电流波形由为存储电容器充电的脉冲组成。图 18 给出某相的电流波形，它包括电源频率的基波分量以及大量谐波分量。

如果驱动器的逆变器部分为输入电路提供一个恒流负载，那么每相的输入电流将是一个振幅恒定的失真波形，如图 18 和图 19 所示。

遗憾的是，脉宽调制驱动器的逆变器部分可能不向输入电路提供恒流负载；在这种情况下，从电容器吸收电流的负载电流将受到输出频率分量的影响。这意味着，来自交流电源的电流在工频频率是复杂的、失真的电流波形，它由驱动器频率进行调制。图 20 给出其波形。调制可能严重影响测量，特别是在低驱动速率，不过，利用扩展的测量区间（为驱动器输出波形周期整数倍），可以解决这个问题。

PA4000 支持脉宽调制驱动器输入功率的精密测量，即使马达处于低频时。输入功率测量与交流工频同步，但通过调节显示屏更新速率及均值设置，可以扩展测量区间。

驱动器输出频率	显示屏更新时间	平均
$f_{out} > 20 \text{ Hz}$	0.5 s	10
$5 \text{ Hz} > f_{out} > 20 \text{ Hz}$	$\frac{10}{f_{out}} \text{ s}$	10
$f_{out} < 5 \text{ Hz}$	2 s	10

表 5. 选择显示屏更新时间和均值，把驱动器输出频率对驱动器输入功率测量的影响降到最小。

对于超过 20 Hz 的输出频率，PA4000 的默认设置通常将给出稳定结果。默认设置是：

显示屏更新速率：0.5 s

平均：10

当输出频率在 5 Hz ~ 20 Hz 之间时，将均值设置为 10，以改进稳定度；对显示屏更新时间进行设置，使之包括测得的脉宽调制输出周期 (1/f) 的整数倍。根据经验法则，应提供 10 个周期。

例如：

输出频率 = 5.5 Hz

显示屏更新速率 = $10 / (5.5 \text{ Hz}) = 1.8 \text{ s}$

对于低于 5 Hz 的输出频率，使用最长的显示屏更新速率 (2 s)，平均为 10。

脉宽调制 (PWM) 马达驱动器电源分析

例如，对单相驱动器进行测量时，如果读数太大，可以将均值设置为 10 以上，以帮助使测量稳定。

分析仪通过三相三线配置进行连接，如图 21 所示（即所谓的两表法，关于利用 $n-1$ 台功率表可以测量通过 n 条线路向系统提供电源的证明，请参见应用指南：三相测量原理）。

在这个线路配置中，可能使用分析仪的第三通道和第四通道，以测量驱动器输出或驱动器内的直流总线。

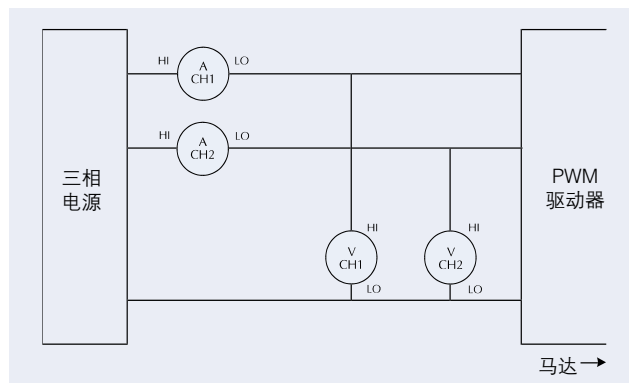


图 21. 三相三线连接。

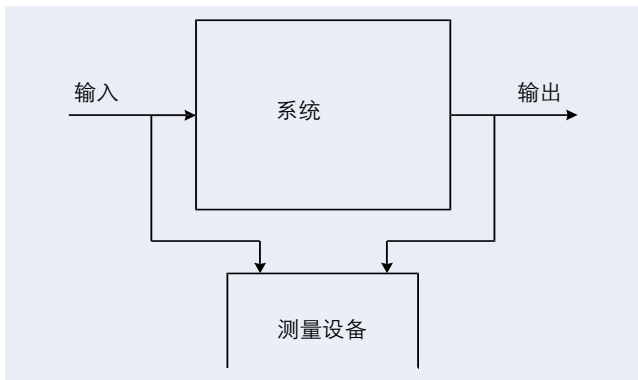


图 22. 效率测量图

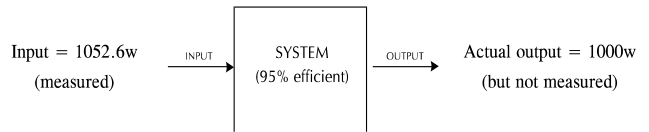
9. 损耗与效率测量

对任意系统，要想对其损耗和效率进行测量，最好对系统输入和输出进行同步测量，如图 22 所示。

对于高效系统（如脉宽调制驱动器）来说，这一点特别重要。这是因为，如果对输出和输出分开测量，而且在测量之间关闭系统来切换仪器，那么就不能始终确保两个测量具有完全相同的负载条件。如果忽视负载条件的任何差异，那么都会导致测得损耗的误差。

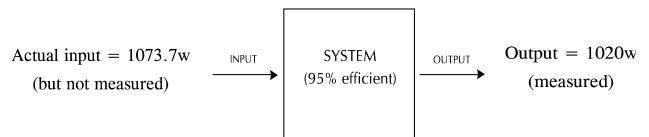
例如：

设置 Number 1 — 测量输入。



关闭系统，重新连接输出测量，并再次开启系统：

设置 Number 2 — 测量输出（但条件稍微变化）。



$$\text{表现损耗} = 1052.6 \text{ W} - 1020 \text{ W} = 32.6 \text{ W}$$

$$\text{实际损耗} = 1073.7 \text{ W} - 1020 \text{ W} = 53.7 \text{ W}$$

这说明测得的损耗误差非常大！

为了避免这类误差，您可以使用 4 通道仪器，如 PA4000 功率分析仪，它能够对驱动器输入和输出同时进行两表法测量，如图 23 所示。

脉宽调制 (PWM) 马达驱动器电源分析

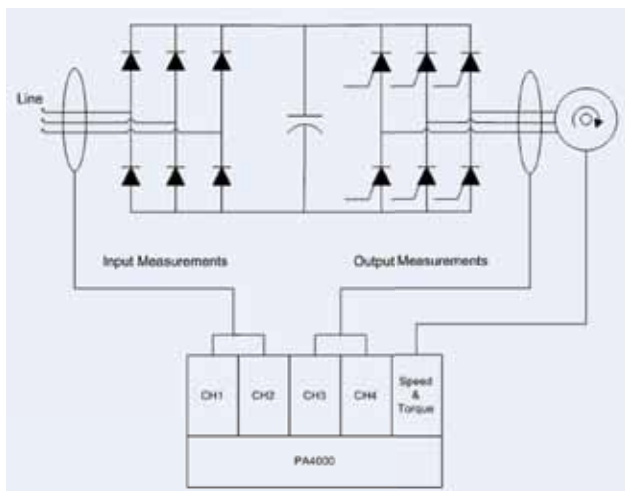


图 23. 利用两表法实现 PA4000 与驱动器输入、输出端连接。

使用这个方法将确保精确测量，即使输入和输出测量之间的条件可能稍有变化。条件的稍微变化无关紧要，因为每次效率测量都是同步测量。

10. 进行连接

对马达驱动器进行电压连接通常只是小事一桩，因为对各相之间电压进行测量。进行电流连接则更具挑战。

进行电流连接主要有两种方式。第一种是方式“分割”导体，并使电流通过电流分流器，然后测量电流分流器两端电压降。虽然这种方式在地功率情况下可行，但当电流较高时，则行不通。

对于大电流，可能使用电流传感器。通常，这涉及到使初级电流载流导体与电流测量设备相连。测量设备生成一个与初级电流成比例的次级电流。

一般情况下，这需要通过电流测量装置的初级载流导体传递。测量设备创建一个与初级电流成比例的次级电流。

为什么使用电流传感器？

使用电流传感器的原因主要有 3 个：

1. 正在测量的信号可能与测量设备不兼容。例如，大部分测试台仪器无法测量超过 100 A 的电流，而这么大的电流是大型马达和驱动器中常见的。
2. 消除测量仪器与测量信号的耦合。在脉宽调制驱动器中，快速开关电压 (dV/dt) 往往造成正在测量的输出信号具有很大的共模分量。

高共模电压给电流测量带来不确定性。使用电流传感器隔离分析仪的电流输入和电压波动，从而消除因共模引起的不确定性。

3. 为了便利和安全。在马达系统中往往存在高压，而且电源阻抗往往极低。如果连接不正确，可能造成大量能量流动。

选择正确的电流传感器

电流传感器有许多种，在马达测量中使用的 4 种最常见电流传感器是：

1. 电流钳
2. 闭环霍尔效应
3. IT 型闭环
4. 电流互感器

为了在马达驱动器的典型信号带宽中实现最佳性能，应使用闭环传感器。在驱动器输入中可以使用电流互感器和电流钳，但在驱动器输出中效果则不好。这是因为电流互感器在低频（低驱动速度）性能不佳，而且将限制测量与开关有关高频频率的能力。

当选择传感器时，重要的是考虑正在测量的信号和测量设备。选择与需要测量的最大信号（包括峰值）相对应的最大输入范围传感器。这将充分发挥传感器范围的效用。

您还希望对测量设备而言，在不引起过冲的前提下，传感器输出信号尽可能大。输入信号越大，信噪比越高，测量结果越好。

使用电流传感器

对于闭环霍尔效应电流传感器，应当谨慎进行连接。将为传感器提供电源。电源通常包括正电源和负电源，而且必须提供足够电流，通常为 10mA ~ 50mA。

传感器应当尽可能靠近测量仪器，以降低次级引线的电压和磁场耦合。

传感器输出是单一电流输出，信号和电源公用回路。该输出应当直接与测量设备电流输入的高端连接。测量设备电流输入的低端应当连接至与传感器电源相同的回路。而且，所有引线应当尽可能短。输出应当靠近电源连接。从理想角度看，3 条线应当绞合在一起。

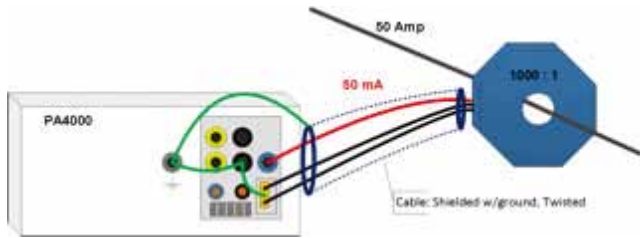


图 24. 使用闭环电流传感器与 PA4000 功率分析仪连接。

在脉宽调制驱动器环境中，在需要情况下，接地和屏蔽是一个好习惯。在低连接中使用可叠堆 4mm 将使低连接很容易接地。

屏蔽电缆将改进性能。屏蔽将接地，并与传感器电源公共端相连，而且，在相应的地方，它将与传感器接地相连。屏蔽将保护电源连接与信号。

如果初级载体中电流占额定电流百分率较低，或者同测量仪器可用的电流量程相比，传感器输出较低，那么通过让电流多次通过传感器核心，可以改进电路性能。

例如，如果您只有 1000A 输入、1A 输出 (1000:1) 传感器，但您希望测量 10A 电流，且输出电流只有 10mA。为了更好地使用测量系统，使初级导体通过传感器 10 次，将使输出电流增加至 100mA。从初级载体角度看，初级电流从 10A 增加至 100A。

对于不同类型的电流传感器，为正确地读取电流，需要对测量仪器进行比例缩放。以 1000:1 电流传感器为例，实际测量的电流是真实电流的 1/1000。因此，电流输入需要扩大 1000 倍。

电流传感器与 PM4000 一起使用

PA4000 的设计目的是与外部传感器一起使用。其设计特性包括：

1. 可选择 $\pm 15V$ 电源，与许多常用的闭环电流传感器一起使用。
2. 每通道电流单独缩放。
3. 后面板接地连接，简化电流测量低连接的屏蔽与接地。
4. 内建 $1 A_{rms}$ 分流器，非常适合电流传感器输出。

如果您正在使用泰克电流钳或变压器，那么这些设备输出是 4mm 安全香蕉插座。电缆可以直接插入 PA4000 的电流分流器。由于电流传感器或电流钳的典型输出低 1A，内建 1A 分流器是个不错的选择。

为了获得精确的测量，只需要为仪器配置两个参数：

1. 分流器选择。这是在每组基础上设置的。
2. 电流输入比例因子。这是在每通道基础上设置的。

比例因子是：
$$\frac{\text{初级电流}}{\text{次级电流}}$$

如果您正在使用闭环电流传感器，那么需要向传感器提供电源。PA4000 内置的可选择 $\pm 15V$ 电源非常适合这个功能。PA4000 的 +15V 和 -15V 电源必须与电流传感器连接，参见图 24。

传感器输出必须连接至通道 1 的 AHi 或 A1A 连接器。由于闭环传感器输出往往低于 1A，因此 A1A 连接器通常是更好的选择。电流通道的 A1o 连接器必须与传感器电源连接器的公共端相连。

为了获得最佳性能，3 个连接器应当绞合在一起并进行屏蔽，屏蔽连接至传感器电源公共端。传感器电源公共端应当与 PA4000 后面板的接地端相连。

脉宽调制 (PWM) 马达驱动器电源分析

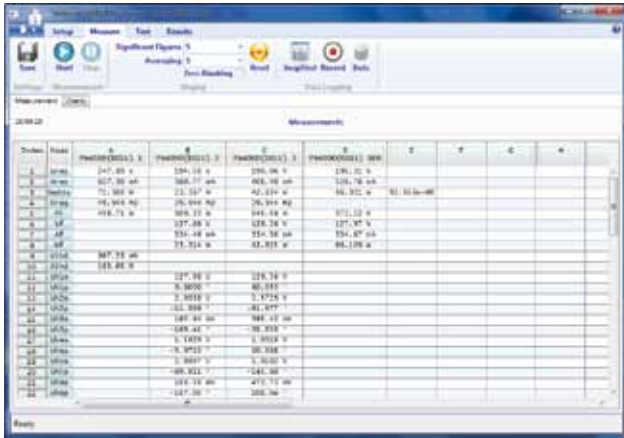


图 25. PWRVIEW 软件显示出脉宽调制马达驱动器的多个功率参数。

11. 动态负载条件下的驱动器性能

脉宽调制驱动器的功耗和输出特性随着马达负载变化。虽然您的测试协议可能调用具体线路或负载条件下的测试，但您可能还需要检查变化条件下的功率特性。对负载变化期间的功率特性进行分析可能产生大量数据，不过，有了适当的软件和相配的分析仪，您可以随着负载或其他条件变化，利用计算机来搜集和分析测量数据。

在这些应用中，功率分析仪就像一个精密测量系统，快速向计算机反馈数据，并存储数据，用于进一步分析。

图 25 给出泰克 PWRVIEW 软件收集的来自 PA4000 功率分析仪的测量数据，PA4000 利用单相线路输入和三相驱动器输出与脉宽调制驱动器相连。除了收集数据，该软件还允许您对分析仪进行控制，这样可以在计算机上对其进行配置。图 26 给出三相输入读数的实例，包括详细的电压、电流和功率谐波图。

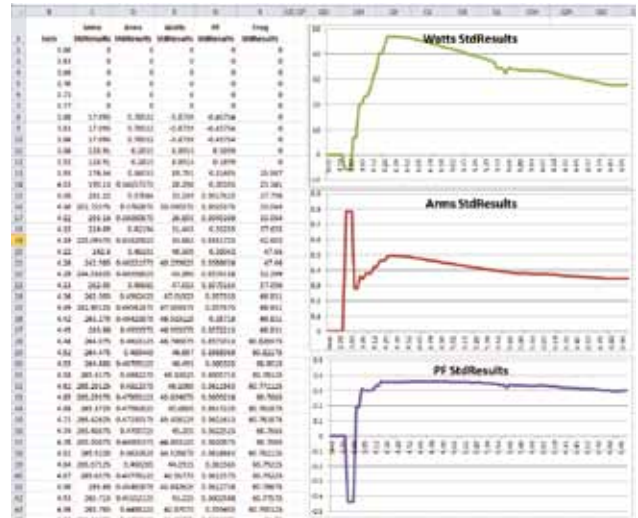


图 26. 记录随时间变化的测量数据，并绘制图表（如这里所示的 Microsoft Excel）。该图给出马达启动期间的测量数据。

12. 结束语

目前，脉宽调制马达驱动器正成为变速马达控制的主要方法，不仅用于工业领域，而且用于电动汽车和家用空调机等诸多领域。脉宽调制驱动器产生复杂波形，无论是其输出至马达，还是为驱动器提供电源。泰克 PA4000 功率分析仪利用业界首创的螺旋分流 (Spiral Shunt™) 技术以及动态频率同步技术解决这个问题，实现对驱动器基频的稳定跟踪。

这项技术加上脉宽调制输出的特殊运行模式，可提供持续的精确测量。该技术对数据进行高速采样，对其总体数量（包括所有谐波和载波分量）进行实时计算。与此同时，它对采样数据进行数字化滤波，提供低频测量，如基频测量和输出频率测量，使得 PA4000 成为脉宽调制驱动器测量的理想解决方案。

电动汽车电机驱动测试方案

概要

大力发展新能源汽车是能源与环境的必然要求：

根据美国能源信息署 EIA 发布的国际能源展望，世界能源市场消耗量 2005 年到 2030 年预计增加 50%。随着能源消耗的逐年增加，二氧化碳的排放量也将增加，目前二氧化碳排放中，25% 来自于汽车。在我国，汽车排放的污染已经成为城市大气污染的重要因素，我国的二氧化碳排放目前已居全球第二，减排二氧化碳的压力将越来越大。

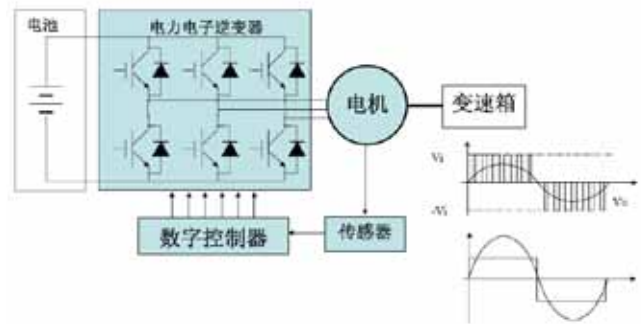
中国发展新能源汽车的压力更为紧迫

近年来，我国的汽车行业发展迅速，已成为世界第四大汽车生产国和第三大汽车消费国。根据国务院发展研究中心估计，2010 年，我国的汽车保有量将接近 6 千万辆，2020 年将达到 1.4 亿辆，机动车的燃油需求分别为 1.38 亿吨和 2.56 亿吨，为当年全国石油总需求的 43% 和 57%。我国的石油资源短缺，目前石油进口量以每年两位数字的百分比增长，预计到 2010 年进口依存度将接近 50%。因此大力发展新能源汽车，用电代油，是保证我国能源安全的战略措施。

电动汽车电驱动基本测试需求：

1. 电驱动效率测试。
2. 电压、电流谐波。
3. 电压，电流有效值，有功功率，功率因数等电参数。
4. 机械功率包括扭矩，转速测试。

电动车电驱动典型的结构：



符合规范：

- GB/T 18488.2-2001 电动汽车用电机及其控制器技术条件 (JEVS E701-94)
- GB/T 18487.3 电动车辆传到充电系统 电动车辆交流 / 直流充电

客户目前遇到的测试困惑：

1. 工频信号测试没有问题，但是 PWM 等高频信号测试现有市面的功率分析仪精度差。
2. 谐波测试精度不足
3. 仪器操作复杂
4. CT 需要外接供电开关电源，接线复杂。
5. 需要同时测试机械功率来评价电机。

电动汽车电机驱动测试方案

PA4000 解决客户的难题：

1. 高次谐波 (40 次) 和 PWM 信号一般都是几 KHz 的信号频率，所以要求测试仪器的响应要好。

PA4000 测试精度

V_{RMS} 45-850Hz 准确度 $\pm 0.01\%$ 读数 $\pm 0.04\%$ 量程 $\pm 0.02 V$

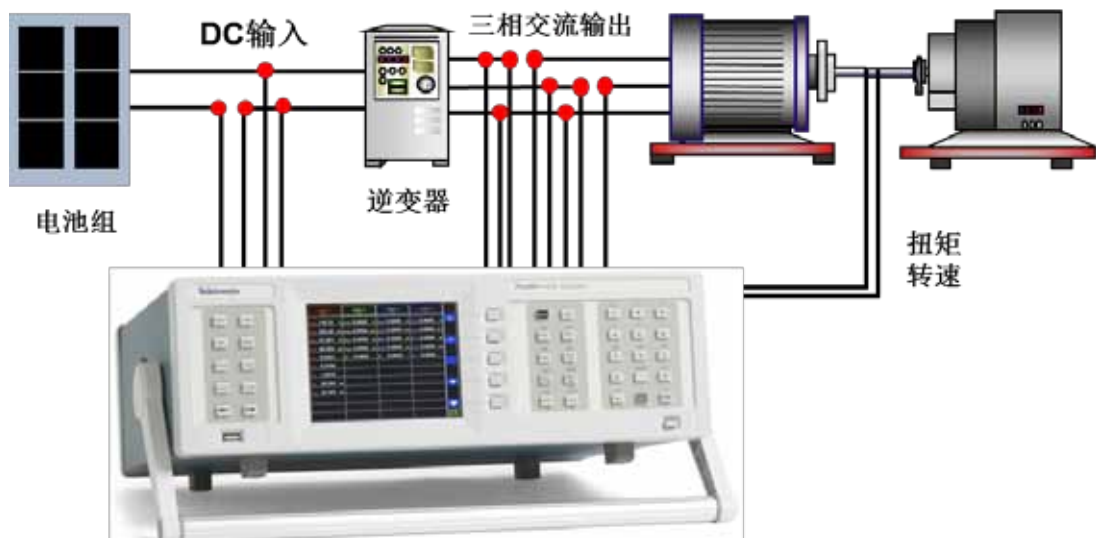
V_{RMS} 10Hz - 45Hz, 850Hz - 1MHz, 准确度 $\pm 0.05\%$ 读数 $\pm 0.05\%$ 量程 $\pm (0.02 * F)\%$ 读数 $\pm 0.02 V$

2. 有专用的 PWM 测试模式，设定简单。
3. 有标配软件 PWRVIEW 可以控制 PA4000 和数据连续记录功能
4. 仪器可以选配 CT 的供电电源，简化接线，使用简单安全。
5. 标配了 4 路模拟信号输入，2 路脉冲信号输入功能，来完成机械功率测试需求。

PA4000 的标准测试功能

- 最多可以同时输入 4 路交直流电压电流信号 PWM 波形，能量积分设定模式 - 简化测试设定工作 - 标配。
- 宽频带的功率测量 (DC-1MHz) 有效功率，功率因数，电压，电流有效值，转化效率，VTHD, ITHD 等
- 电压，电流，功率谐波测量功能 - 标配 (最高 100 次谐波分析) - 标配
- 机械功率测量功能 - 标配
- 30A_{RMS} 和 1A_{RMS} 双电流分流器 - 可选大电流 CT 选项
- USB, 以太网, RS232 通讯接口 - 标配。
- 标配应用软件 (PWRView), 可以利用电脑对仪器进行远程控制，测量数据记录，多次谐波测量 - 标配

电动汽车系统测试示意图：

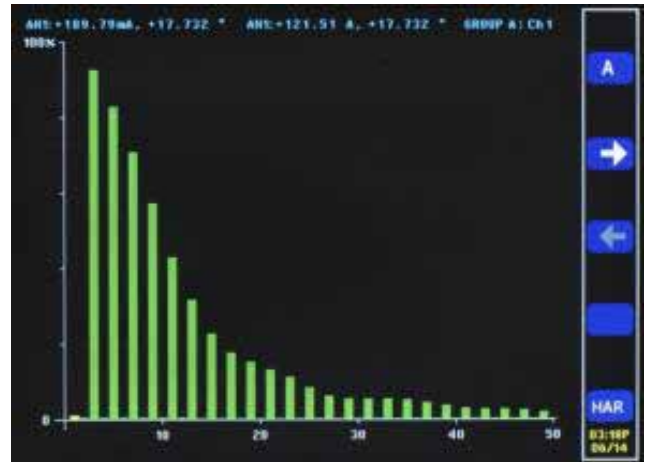


PA4000 的测试图：

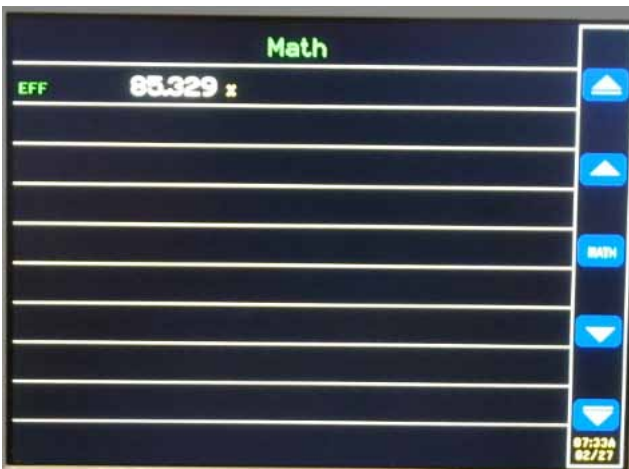
1. 有功功率，功率因数等电能相关的参数。

GROUP A		GROUP B		Sum	
Ch1	Ch2	Ch1	Ch2		
Vrms 259.78	V Vrms 275.99	V	275.99	v	275.99
Arms 220.56	mA Arms 328.87	mA	329.93	mA	465.50
Watt 29.417	W Watt 39.277	W	-14.139	W	25.138
Va 57.298	Va Va 90.764	Va	91.058	Va	222.52
Freq 60.016	Hz Freq 57.863	Hz	57.863	Hz	-----
Pf 0.5136	Pf 0.4327		-0.1853		0.1130
Vpk 9.6997	Vpk 500.83	V	536.85	V	-----
Vpk 113.69	Vpk -531.78	V	-509.20	V	-----
Apk -9.1693	Apk 4.5481	A	5.6393	A	-----
Apk 495.51	Apk -5.1259	A	-5.6148	A	-----
Apk -83.746	Vrms 218.17	v	217.86	v	-----
Apk 106.77	Arms 387.08	mA	264.61	mA	-----

3. 电流谐波测试



2. 逆变器转换效率



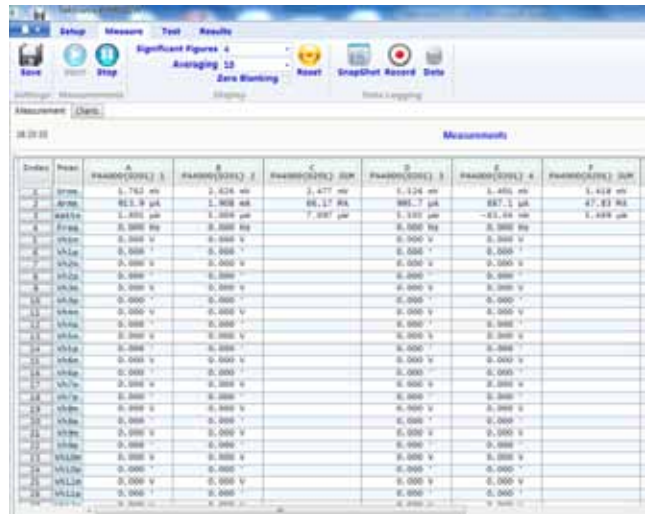
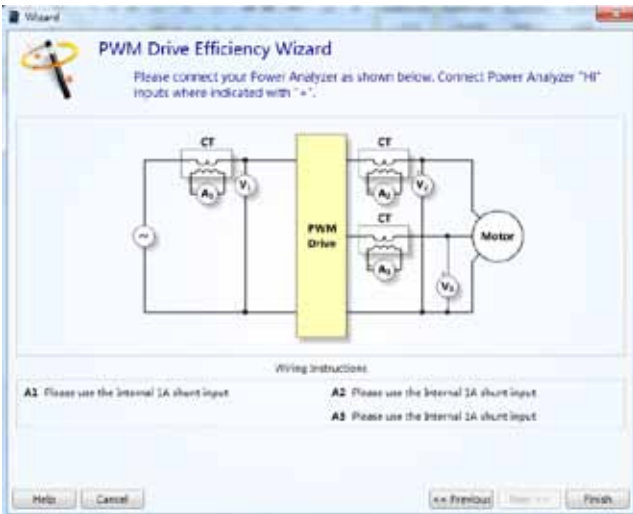
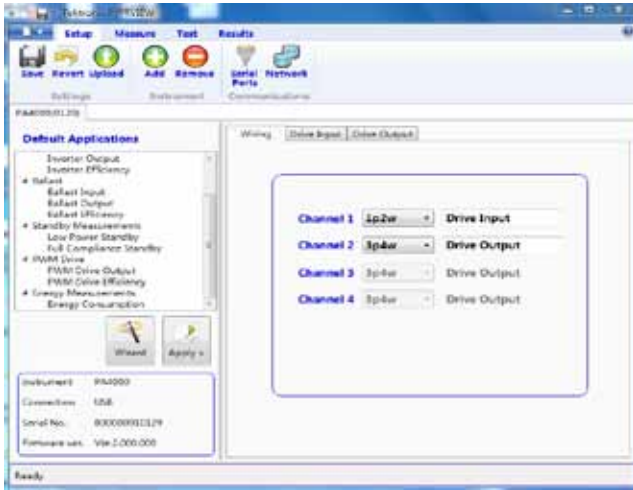
4. 电压电流矢量图



电动汽车电机驱动测试方案

PWRVIEW 远程控制软件：

可以实现，远程控制，系统配置（接线及测试项目），数据监控及记录等功能



泰克推荐的方案：

主机：PA4000 (4CH +CT15V 供电)

电流变送器：CT-400-S 4 个 (400A 峰值交直流电流变送器)-CT 根据客户测试电流对应选择

CT 选型表

型号	形式	精度	口径 mm	频率 (±3dB)	RMS 有效值	最高 峰值	描述
CT-60-S	定心, 霍尔	0.05%	φ26	DC-800KHz	42A	60A	需供电 ±15V
CT-200-S	定心, 霍尔	0.05%	φ26	DC-500KHz	141A	200A	需供电 ±15V
CT-400-S	定心, 霍尔	0.05%	φ26	DC-500KHz	282A	400A	需供电 ±15V
CT-1000-S	定心, 霍尔	0.05%	φ30	DC-500KHz	707A	1000A	需供电 ±15V
CT-100-M	定心, 霍尔	0.50%	φ15.6	DC-100KHz	100A	200A	需供电 ±15V
CT-200-M	定心, 霍尔	0.50%	φ15.6	DC-100KHz	200A	420A	需供电 ±15V
CT-500-M	定心, 霍尔	0.50%	φ30.2	DC-100KHz	500A	800A	需供电 ±15V
CT-1000-M	定心, 霍尔	0.50%	φ38.5	DC-150KHz	1000A	1200A	需供电 ±15V
CL200	钳型表	2.00%	φ20	40Hz-10KHz	140A	200A	不需供电
CL1200	钳型表	0.50%	φ52	30Hz-5KHz	707A	1200A	不需供电

CT-1000-S 需要单独供电

太阳能逆变器测试方案

概要

近年，太阳能发电备受关注。其中一个重要理由是为防止全球气候变暖。以石油、煤炭等非再生资源为燃料的火力发电等发电方式，会排出导致全球气候变暖的二氧化碳，影响环境。而太阳能发电不需要这类资源，被认为是未来重要的代能源。对太阳能发电的电压、电流及功率转换效率进行评价时，拥有高精度直流精度和交流精度的 PA4000 功率计将成为非常有用的测量工具。

国家在十二五规划中明确要重点扶持新能源行业发展。

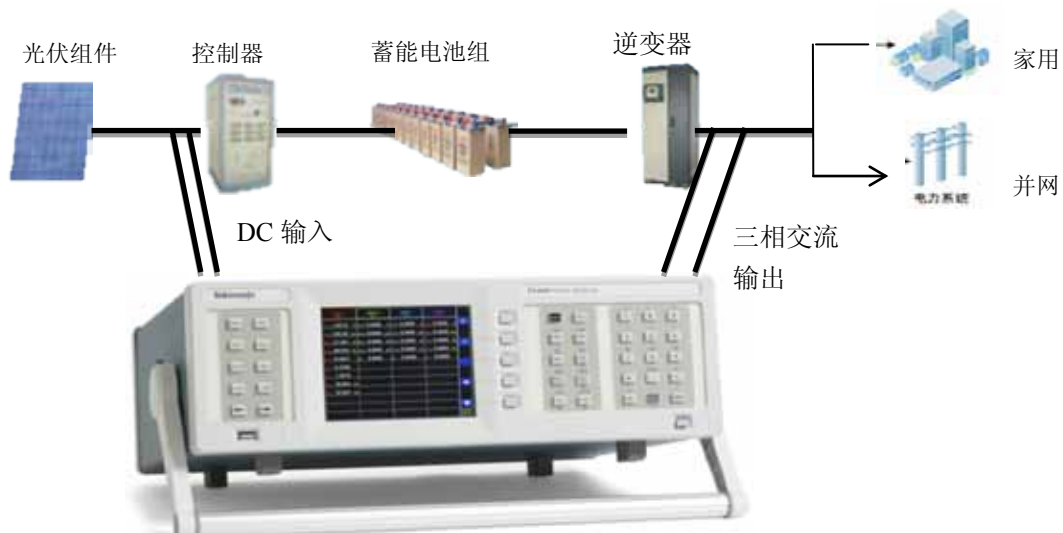
太阳能逆变器基本测试需求：

1. 逆变效率测试。
2. 电压、电流谐波。
3. 电压，电流有效值，有功功率，功率因数等电参数。
4. 直流分量。

符合规范：

EN 50530-2010 并网光伏逆变器的全逆变效率
IEC 62109-2-2011 光伏发电系统用电力转换设备的安全第 2 部分对逆变器的特殊要求
Q/GDW 617-2011 光伏电站接入电网技术规定

太阳能发电系统测试示意图：



客户目前遇到的测试困惑：

1. 工频信号测试没有问题，但是 PWM 等高频信号测试现有市面的功率分析仪精度差。
2. 谐波测试精度不足
3. 仪器操作复杂
4. CT 需要外接供电开关电源，接线复杂。

PA4000 解决客户的难题：

1. 高次谐波 (40 次) 和 PWM 信号一般都是几 KHz 的信号频率，所以要求测试仪器的响应要好。

PA4000 测试精度

V_{RMS} 45-850Hz 准确度 $\pm 0.01\%$ 读数 $\pm 0.04\%$ 量程 $\pm 0.02 V$

V_{RMS} 10Hz - 45Hz,

850Hz - 1MHz, 准确度 $\pm 0.05\%$ 读数 $\pm 0.05\%$ 量程 $\pm (0.02 * F)\%$ 读数 $\pm 0.02 V$

2. 有专用的 PWM 测试模式，设定简单。
3. 有标配软件 PWRVIEW 可以控制 PA4000 和数据连续记录功能
4. 仪器可以选配 CT 的供电电源，简化接线，使用简单安全。

PA4000 的功能特点

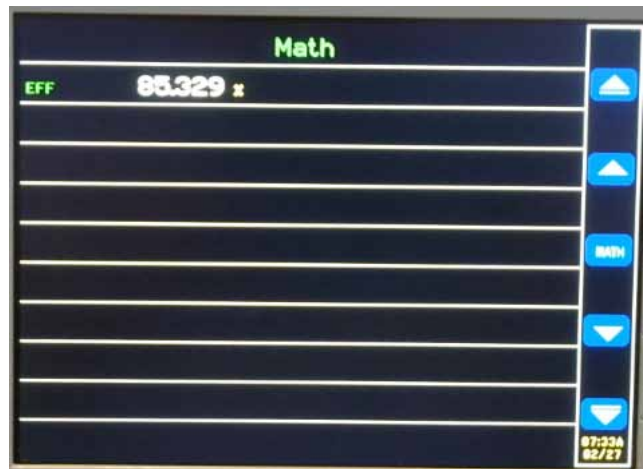
- 最多可以同时输入 4 路交直流电压电流信号。
- PWM 波形, 能量积分设定模式 – 简化测试设定工作。
- 宽频带的功率测量(DC–1MHz)有效功率, 功率因数, 电压, 电流有效值, 转化效率, VTHD, ITHD 等
- 电压, 电流, 功率谐波测量功能 – 标配 (最高 100 次谐波分析)
- 30A_{RMS} 和 1A_{RMS} 双电流分流器 – 可选大电流 CT 选件
- USB, 以太网, RS232 通讯接口标配。
- 标配应用软件 (PWRView), 可以利用电脑对仪器进行远程控制, 测量数据记录, 多次谐波测量。

PA4000 的测试图:

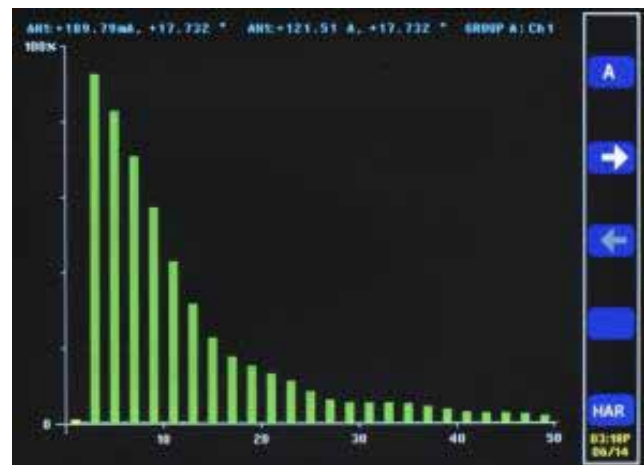
1. 有功功率, 功率因数等电能相关的参数。

GROUP #	Ch1	Ch2	GROUP #	Ch1	Ch2	Sum	
Vrms	259.78	V/Vrms	275.99	V	275.99	V	275.99
Irms	220.56	mA/Irms	328.87	mA	329.93	mA	465.50
Watt	29.417	mWatt	39.277	W	-14.139	W	25.138
VA	57.298	VA/VA	90.764	VA	91.058	VA	222.52
Freq	60.016	Hz/Freq	57.863	Hz	57.863	Hz	-----
PF	0.5134	PF	0.4327		-0.1553		0.1130
Vpk	9.4699	Vpk	500.83	V	536.85	V	-----
Vpk	113.69	mA/Vpk	-531.78	V	-59.920	V	-----
Apk	-9.1693	mA/Apk	4.5481	A	5.6393	A	-----
Apk	495.51	mA/Apk	-5.1259	A	-5.6148	A	-----
A _{2m}	-83.746	V/A _{2m}	218.17	V	217.86	V	-----
A _{3m}	106.77	mA/A _{3m}	387.08	mA	264.61	mA	-----

2. 逆变器转换效率



3. 电流谐波测试



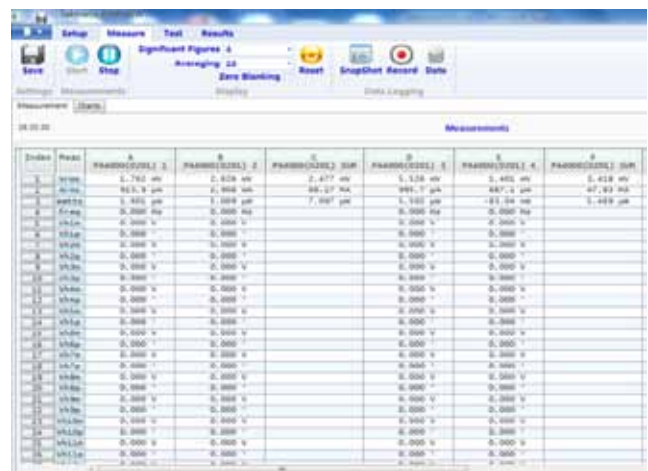
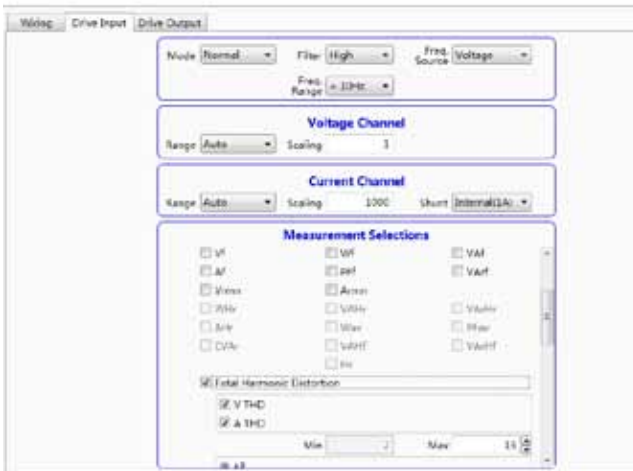
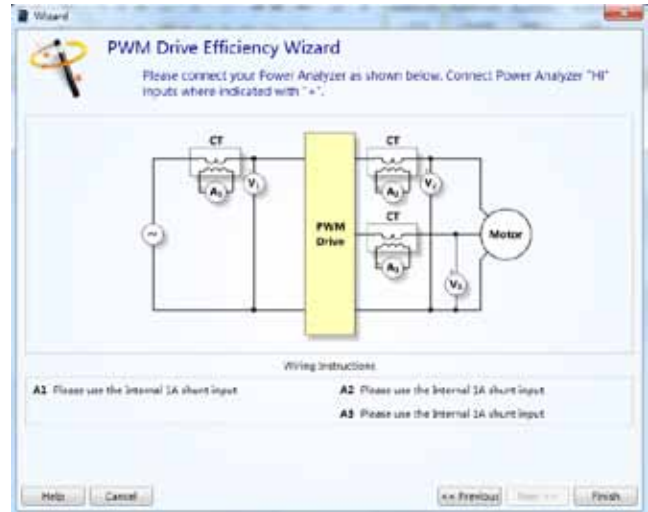
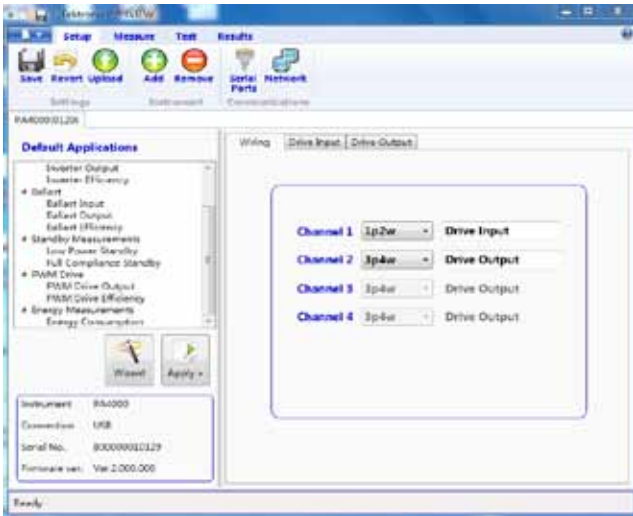
4. 电压电流矢量图



太阳能逆变器测试方案

PWRVIEW 远程控制软件：

可以实现，远程控制，系统配置（接线及测试项目），数据监控及记录等功能



泰克推荐的方案：

主机：PA4000 (4CH +CT15V 供电)

电流变送器：CT-400-S 4 个 (400A 峰值交直流电流变送器)

根据客户的电流大小可选 CT 表

型号	形式	精度	口径 mm	频率 (± 3dB)	RMS 有效值	最高 峰值	描述
CT-60-S	定心, 霍尔	0.05%	φ26	DC-800KHz	42A	60A	需供电 ± 15V
CT-200-S	定心, 霍尔	0.05%	φ26	DC-500KHz	141A	200A	需供电 ± 15V
CT-400-S	定心, 霍尔	0.05%	φ26	DC-500KHz	282A	400A	需供电 ± 15V
CT-1000-S	定心, 霍尔	0.05%	φ30	DC-500KHz	707A	1000A	需供电 ± 15V
CT-100-M	定心, 霍尔	0.50%	φ15.6	DC-100KHz	100A	200A	需供电 ± 15V
CT-200-M	定心, 霍尔	0.50%	φ15.6	DC-100KHz	200A	420A	需供电 ± 15V
CT-500-M	定心, 霍尔	0.50%	φ30.2	DC-100KHz	500A	800A	需供电 ± 15V
CT-1000-M	定心, 霍尔	0.50%	φ38.5	DC-150KHz	1000A	1200A	需供电 ± 15V
CL200	钳型表	2.00%	φ20	40Hz-10KHz	140A	200A	不需供电
CL1200	钳型表	0.50%	φ52	30Hz-5KHz	707A	1200A	不需供电

CT-1000-S 需要单独供电

消费电子测试方案

概要

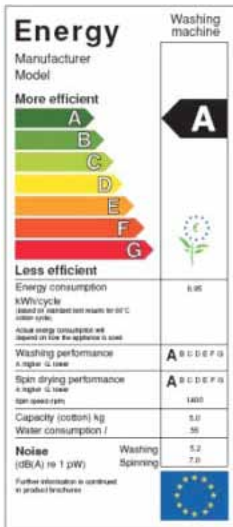
十二五规划要“大力推进节能降耗”，完善节能法规和标准，制订完善并严格执行主要耗能产品能耗限额和产品能效标准，健全节能市场化机制，加快推行合同能源管理和电力需求侧管理，完善能效标识、节能产品认证和节能产品政府强制采购制度。

这必定要求各种信息家电产品、半导体照明、工业驱动装备等提高效率，降低能耗；小家电功耗符合如能源之星，EUP 等等的法规要求，消费电子行业也需求新的测试设备。

消费电子测试需求：

1. 电压，电流有效值，有功功率，功率因数等电参数。
2. 待机功耗。
3. 节能标准。
4. 电压、电流谐波。

节能标签：



符合规范：

- IEC 62301 待机功耗测量标准
- EUP Directive – energy-using product 用能产品生态化设计要求指令
- Energy star 能源之星

客户的测试难题：

1. 对含有高谐波畸变波形需要仪器的峰值因数测试能力高于 3 以上。
2. 待机功耗测试需要测试 mA 或者 uA 级小电流信号，小电流信号测试不准确。
3. 客户需要针对性设定机器完成准确的测试，设定复杂。
4. 连线复杂，测试连接机器耗费时间。
5. 测试数据需要后续整理

PA4000 的功能特点

- 宽频带的功率测量 (DC-1MHz) 有效功率，功率因数，电压，电流有效值，VTHD, ITHD 等
- 专用待机功耗测量功能 – 标配简化客户的设定工作
- 30Arms 和 1Arms 双电流分流器 – 标配 (最小电流量程 2.5mA) 可以实现 mW-kW 级功率准确测试。
- 峰值因数可以到 10- 准确测试有大畸变的电流波形
- 电压，电流，功率谐波测量功能 – 标配 (最高 100 次谐波分析) – 标配
- 能量积分模式 – 标配
- USB，以太网，RS232 通讯接口 – 标配。
- 标配应用软件 (PWRView)，可以利用电脑对仪器进行远程控制，测量数据记录，多次谐波测量 – 标配

消费电子测试图：



PA4000 的测试图：

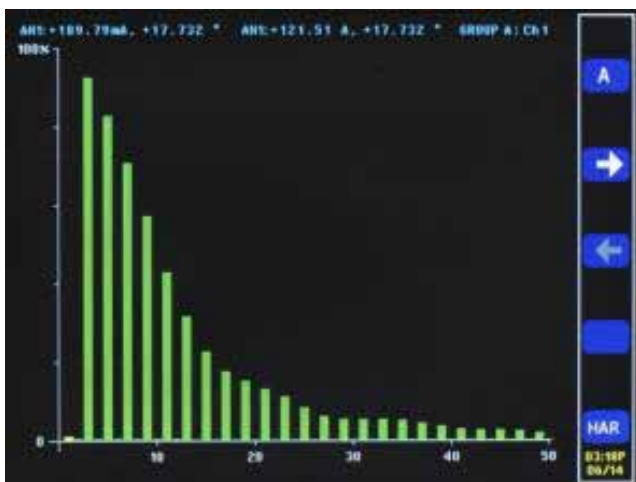
1. 有功功率，功率因数等电能相关的参数



3. 能量积分功能



2. 电流谐波测试



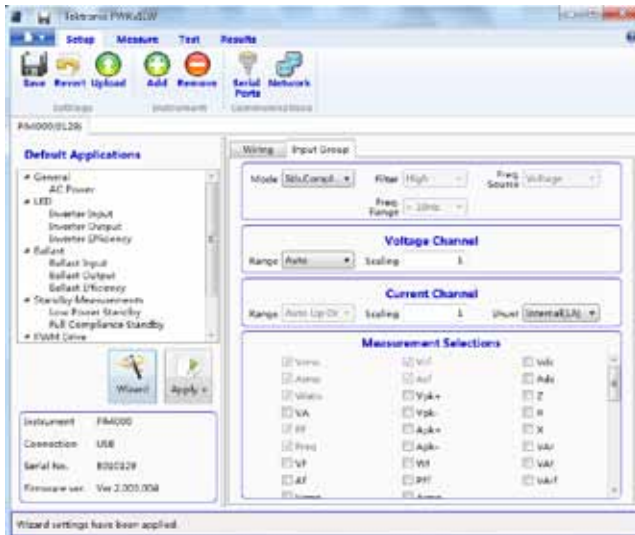
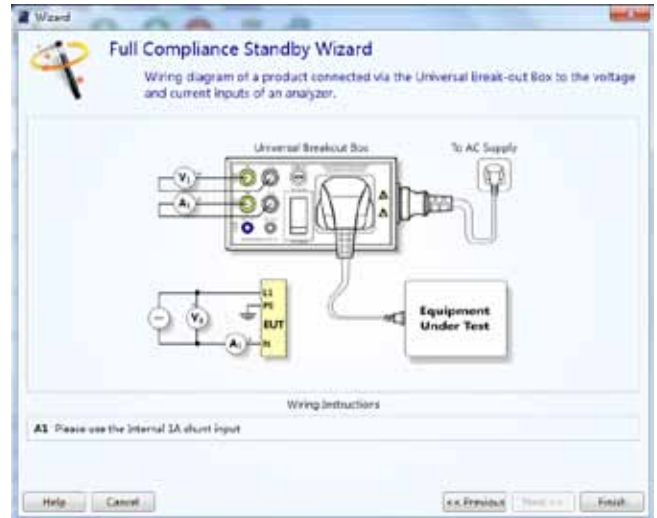
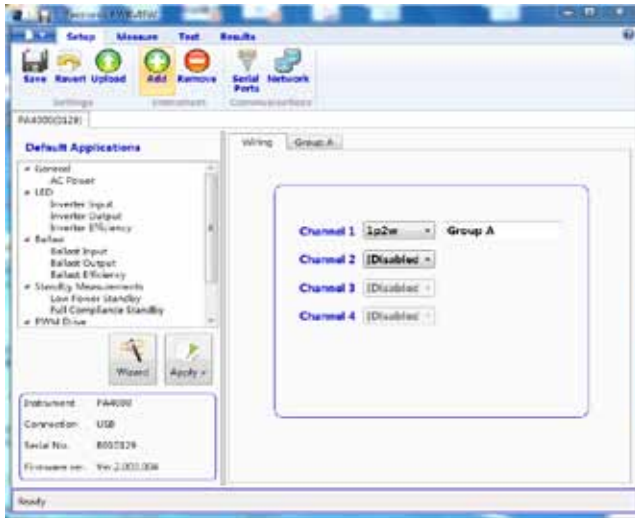
4. 矢量图



消费电子测试方案

PWRVIEW 远程控制软件:

可以实现, 远程控制, 系统配置 (接线及测试项目), 数据监控及记录等功能



<new sfdtd/contact>
sfdtd

Test Report No 130918-020638-F
Standby Power Measurement

Customer		Issuer	
Name: <i>new contact</i>	Address: <i>new contact</i>	Name: <i>user sfdtd/contact</i>	Address: <i>sfdtd</i>
Date of Issue: 2013-Sep-18			

Sub-Device Test		Reference Instrument	
Manufacturer:	<i>Power Analyser</i>	Model:	<i>PA1000</i>
Serial Number:	<i>WHA02081</i>	Pressure Version:	<i>SW2.02</i>
Test Software:	<i>PAVIEW ver. 1.1.1.138</i>	Test Software:	

Test Conditions		Test Summary	
Date of Test:	<i>2013-Sep-18 02:06:38</i>	Average Power:	2.2689 W
Test Voltage:	<i>220V ± 1%</i>	Power Limit:	<i>800.00 w/ff</i>
Test Frequency:	<i>50Hz ± 0%</i>	Power Stability:	<i>38.514 w/ff (s)</i>
Voltage Deviation:	<i>± 2% THC</i>	Uncertainty*:	<i>865.27 w/ff (FAC)</i>
Voltage Crest Factor:	<i>1.10 ± VdF ± 1.00</i>	Test Period:	<i>00:01:00 (= 10 min) (FAC)</i>
Temperature:	<i>23°C ± 1°C</i>	Test Method:	<i>Sampling (2000000 FdZ)</i>
Humidity:	<i>± 75%</i>	Test Status:	<i>PASS</i>

Power measurements were carried out in accordance with the requirements of IEC 62301 Ed. 2 "Measurement of standby power" and EN 50564:2011 "Electrical and electronic household and office equipment - Measurement of low power consumption" in the laboratory environment, using equipment traceable to national or international standards. All testing was performed under computer control.

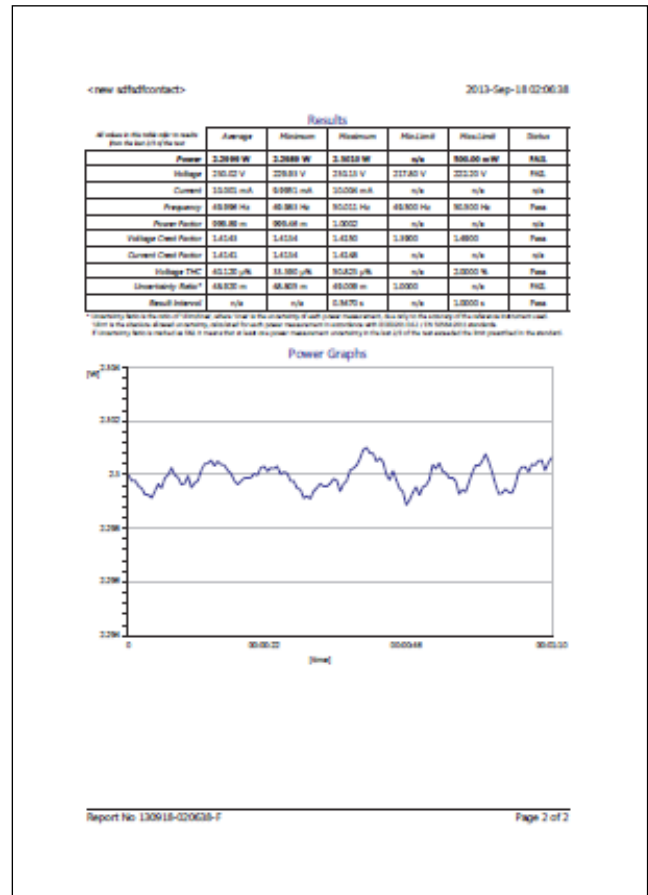
* Uncertainty based on a coverage of 95%. The measurement uncertainty from the test set of the test set only in the laboratory environment.

† Uncertainty based on IEC 61010-1. There are no power measurement uncertainty in the test set of the test set in the laboratory environment.

Test Name	Test Officer
	<i>Full Name: 1</i>

Signature _____

Report No. 130918-020638-F Page 1 of 2



泰克推荐的方案：
主机：PA4000 (1CH)+ BREAKOUT BOX 接线盒

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：www.tektronix.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

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

如需进一步信息

泰克维护着一套完善的不断扩大的应用指南、技术简介和其它资源，帮助工程师处理尖端技术。请访问 www.tektronix.com.cn



© 2013 年泰克公司版权所有，保留所有权利。泰克产品受到美国和国外已经签发和正在申请的专利保护。本文中的信息代替以前出版的所有材料中的信息。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。本文提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

2013年9月

Tektronix®