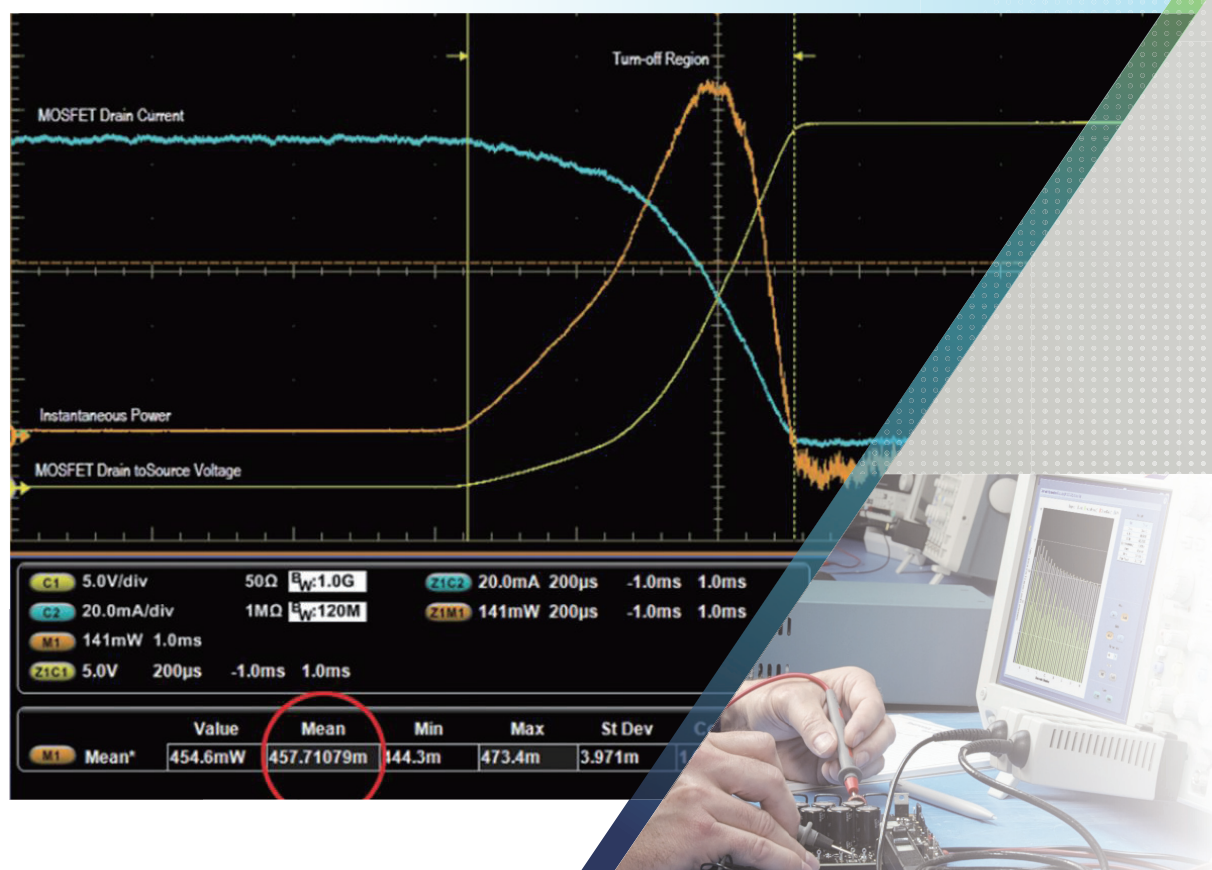


电源测量小贴士

10 个设计阶段



电源设计的 10 个阶段

电源是所有电子和电气设备的基础设备，电源可以分为很多类别，以适应其供电的各类系统。电源市场竞争日趋激烈，设计人员需要设计出比以往体积更小、更节能、更便宜的电源产品。更高的效率、更高的功率密度、更短的开发周期、更严格的行业标准和更低的成本，同样也给设计人员带来巨大挑战。

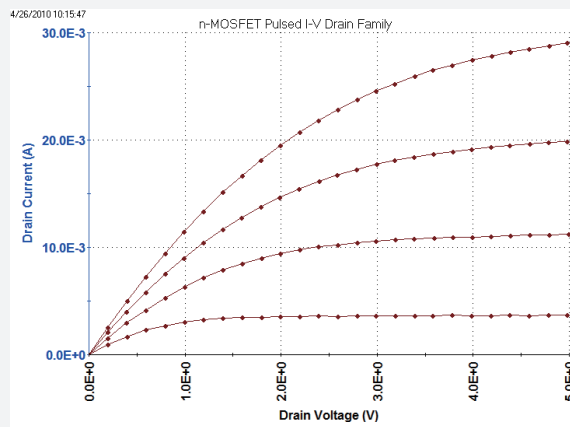
电源设计是一项复杂的工作，分成许多步骤。在本指南中，我们将根据电源设计的工作流程，提供 10 个设计阶段中每个阶段的测试小贴士。希望能让您的测试更高效，让您的生活更轻松。

索引

1. 元器件选择和特性分析
2. 低压 DC 回路测试
3. 高压 AC 回路测试
4. 数字和模拟控制电路调试
5. 测试电源工作阶段开关特性
6. 开关损耗和传导损耗测试
7. 效率和指标测试
8. 电源标准一致性测试
9. EMI 调试和预一致性测试
10. 设计验证



两通道源表及 PC 软件为构建元器件特性曲线提供了经济的解决方案。



脉冲式 I-V 测试防止器件自热，可以非常接近实际器件操作环境。

元器件选择和特性分析

传统上，元器件制造商详细的产品技术资料为设计人员提供了很全的电源设计所必须的工作特性，但新型电源设计的要求越来越严格，可能要求所有设计人员在标准产品技术资料的参数之外还需分析元器件的特点。

- 某些关键电源元器件，如 MOSFETs 和 IGBTs，应根据关键参数最优进行选择，如开点状态电阻、闭点状态电阻或 AC 特性。
- 应在产品技术资料规定的理想条件之外的温度范围内测试元器件。
- 还应在真实工作条件下与有源器件一样测试无源器件。

了解更多信息

怎样验证功率半导体器件设计网上研讨会：

www.tek.com/webinar/learn-how-validate-power-semiconductor-device-designs-simply-and-accurately

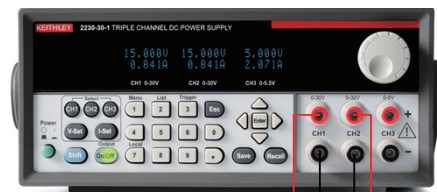
测量小贴士

- 为测量开点状态小的差异，如栅极阈值电压 (V_{TH})、增益 (g_m) 和开点电阻 ($R_{DS(on)}$)，使用的仪器应能够驱动几十安培的电流，生成可以测量的电压。同样，对低电流闭点状态测量，如泄漏电流 (I_{DSS})，使用的仪器应能够提供高电压，生成可以测量的电流。
- 对击穿电压，确保提供的电压是器件工作电压的几倍
- 在简单的两端子器件或比较复杂的三四端子晶体管上测量器件电容相对于电压关系 (C_{ISS} , C_{OSS} , C_{RSS}) 时，一定要使用能够测试器件 DC 工作电压整个范围的电容测量系统。传统 LCR 仪表会告诉你电容，但不涵盖整个工作电压。

仪器介绍：

- 吉时利源表可以作为四合一仪器：
 - 电压表 / 电流源
 - 电压源 / 电流表
 - 扫描和函数函数发生器
 - 可编程负载
- 吉时利源表可以测量元器件上的 IV 特性，从几 mV 到 3 kV
- IVy 触摸屏软件适用于安卓平台，可以简便地查看元器件的 IV 特性

2



三相隔离输出 DC 电源可以为子电路独立供电



2280S 系列电源以 6 位半的电流分辨率提供低输出噪声

低压 DC 回路测试

设计周期的下一个阶段是原型板制作。第一台原型板容易发生各种问题，如电路板布线、焊点、元器件贴装和寄生电容等，因此一定要谨慎。

- 在开机前，使用数字万用表检查所有输入和输出回路是否有短路。
- 尽可能把低压模拟电路和数字电路隔离成多个子电路，在原型电路板通电时一次一个电路。
- 隔离主板供电电源，在有负载和没负载的情况下测试输出。检查输出电压和纹波是否满足预期。
- 使用精密 DC 电源为各个低压子电路供电，而不是依赖主板电源。（如果主板电源有多个输出，那么应使用有多条隔离通道的 DC 电源）

测量小贴士

- 使用 DC 电源，同时显示输出设置和实际被测输出，您可以迅速查看 DC 阶段是否吸收太多的电流。也可以在电源和被测器件之间连接一台 DMM，密切监测负载电流和功耗。
- 如果您需要为被测系统提供精密电压，可以考虑使用 4 线远程式电源，消除台式电源与被测系统之间的导线导致电压下跌产生的影响。

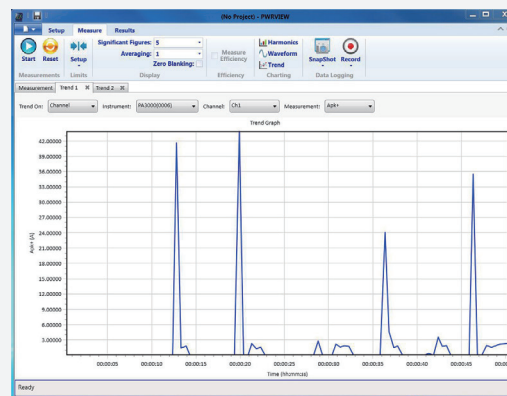
仪器介绍

- 吉时利 2280S 精密测量电源提供了 10 nA 分辨率和 0.05% 精度，可以测量低休眠模式下的电流。

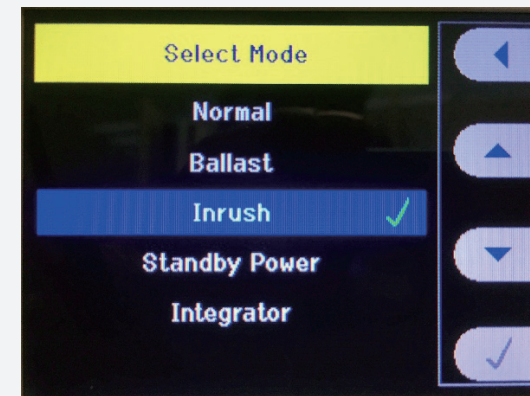
3



在 MSO5000B 示波器上使用 DPOPWR 分析 AC 功率



PWRVIEW – 趋势图监测突发事件



PA1000 – 浪涌电流模式

高压 AC 电路开机测试

现在我们已经检查了所有低压电路，高压电路就要通电了。在这个阶段，原型板将第一次承受高压。

- 在第一次开机过程中，最好把高压阶电路与所有低压电路隔开。
- 建议使用具有限流功能的 AC 电源。应先从设计的最低 AC 电压入手，这有助于减少重大熔断风险，如焊接不良、组装误差或 PCB 设计错误等潜在问题导致的熔断。
- 使用相应等级的差分探头和电流探头，测量 AC 输入电压和电流。
- 在通电前，应在 AC 输入上使用示波器或功率分析仪，并启用记录功能，捕获浪涌电流和瞬态事件。
- 一旦检查了高压电路，就可以启用低压控制电路，全面了解相关信息。

测量小贴士

- 如果使用钳式电流探头测量无负载系统的低 AC 输入电流，可以通过以下方式提高探头观测的电流。把电流导线简单地多次循环通过钳夹。记住，最后要把电流读数除以圈数。
- 使用拥有连续记录功能的功率分析仪，记录启动电流。在开机过程中发生灾难性故障时，至少还有一些数据来调查可能的原因。

仪器介绍：

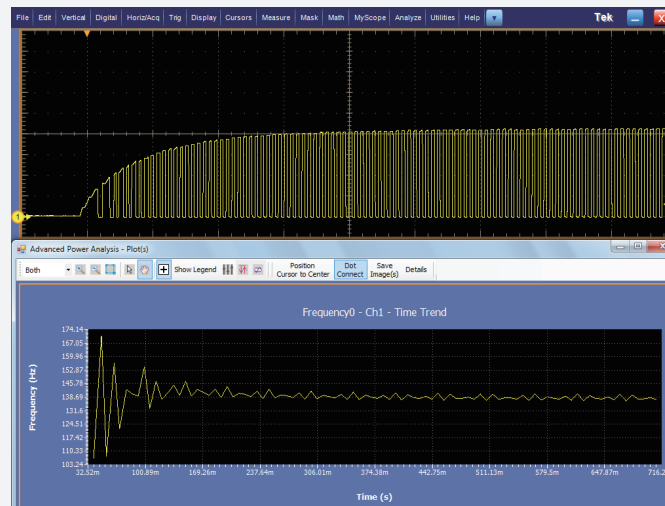
- PA1000 功率分析仪提供浪涌电流模式，测试电流浪涌期间的峰值。
- DPOPWR 示波器软件提供了全面的功率分析套件，可以帮助您在开机过程中测量和调试输入 AC 功率参数。

4

数字和模拟控制电路调试

在这个阶段，您要检查控制逻辑。这可能是设计最重要、最复杂的部分。在这个阶段，您将执行测试，以便获得正确补偿、电压、定时和频响。

- 在开机过程中测量开关器件驱动装置上的调制信号，检验不同负载下开关频率、脉宽和占空比是否正确。
- 通过使用控制环路中的宽带变压器输入扫频信号，检查环路频响。
- 使用频响分析仪，测量电路的增益和相位。



DPOPWR – 在 MSO5000B 示波器上执行调制分析

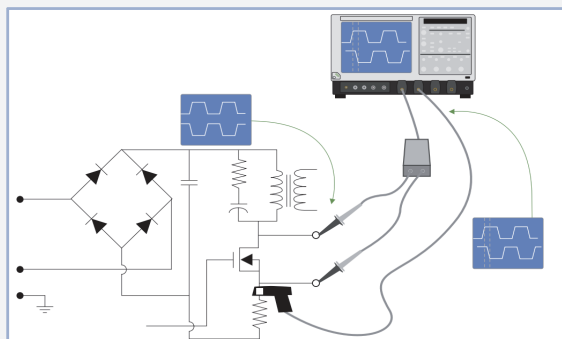
测量小贴士：

- 监测输入电压和输出电路及反馈或控制信号，检验环路响应（如临界阻尼）在输入电压和输出负载变化期间是否符合预期。
- 监测输入电压和输出电压及控制信号，检验电路操作，如软启动、短路保护、关断和电流回馈。
- 对数控电源，应捕获模拟信号、数字信号和串行总线控制信号的时间相关波形，查看系统操作，确保控制系统运行状况与设计目标相符。

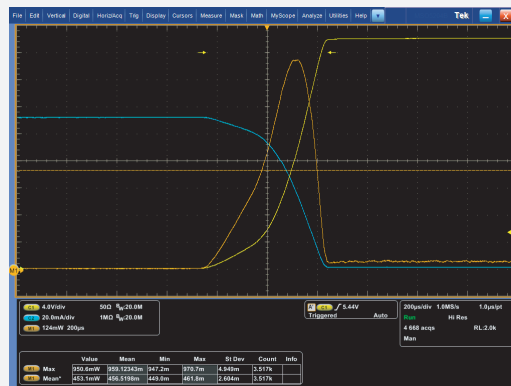
仪器介绍：

- DPOPWR 软件可以帮助您在测量困难的 PWM 信号上执行调制分析。

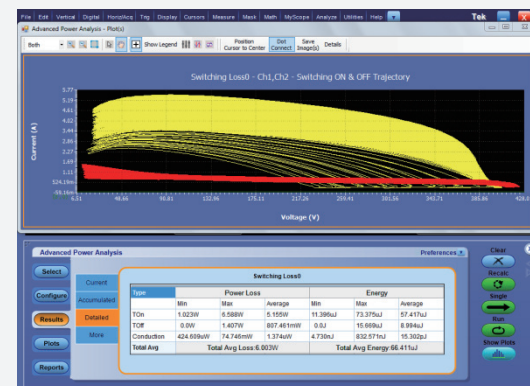
5



开关测量



开关时间分析



开关轨迹图

测试工作阶段的开关特性

在确认完高压电路后，我们检验低压电路和控制逻辑，现在要检查工作阶段的开关特性。

- 在空载、额定负载和满载条件下测试开关特性。
- 确保所有开关的启动、关闭、占空比和死区时间依据设计计算都符合预期，如 MOSFETs 和 IGBTs。
- 检查所有 VGS 信号的噪声和变化，因为这个端子上任何偶发的毛刺都可能会导致不必要的启动和击穿。
- 根据拓扑结构，检查同步整流器或 H 桥接器的死区时间，确保不可能出现击穿。
- 检验门驱动器和相关信号之间的定时关系，确保其符合预期。

测量小贴士：

- 为安全地测量非参考地的信号，建议使用相应额定电压的差分探头。一定不要浮起示波器，因为这样很危险。
- 浮动门信号很难测试，应在门驱动器输入上探测信号，这样可以检验 FET 顶部与底部之间的死区时间。
- 在最低电压时刻测量电流，可以最大限度地减少串扰

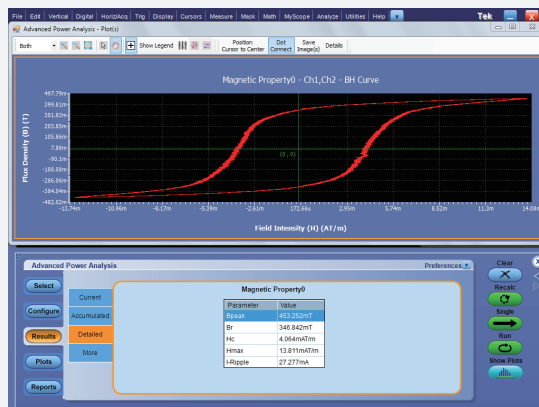
仪器介绍：

- 泰克示波器包括一种高分辨率模式，从根本上提高了垂直分辨率，因此可以使用最高精度计算启动和关闭时间。

6



MSO5000B 示波器测量的开关损耗和传导损耗。



MSO5000B 显示的磁性特性分析



MSO5000B 示波器测量的磁性损耗

开关损耗和传导损耗测试

经过电源开关和磁性器件的开关损耗和传导损耗对系统整体损耗有着巨大影响，正因如此，应尽可能使这些损耗达到最小，尤其是对高效电源设计。

- 不要单纯依赖产品技术资料来理论计算开关损耗和传导损耗，它们经常会产生误导，因为其没有考虑工作条件和电路寄生信号，没有提供完善的损耗信息。
- 在测试时，首先应检查整流器开关，如电路活动和负载时 MOSFETs、IGBTs 和磁性器件的损耗。由于大多数磁性器件采用定制设计，如开关器件，因此最好在工作状态下测试磁性器件，以便正确分析其特性。

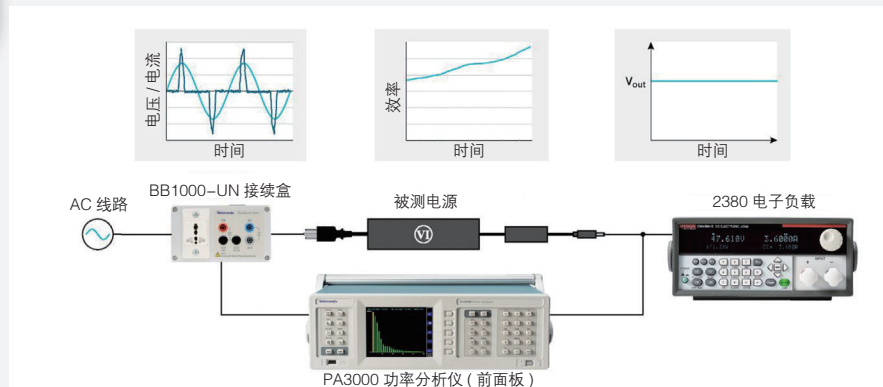
测量小贴士：

- 在测量开关损耗时，应使用高分辨率示波器，同时一定要校正电压探头和电流探头的时延。为了保证设定周期内结果的准确性，可以使用滤波功能和平均功能。
- 在使用示波器测量开关损耗时，先把电压乘以电流。然后取启动或关闭过程中得到的功率波形的中间值。如果使用功率分析软件，那么这一过程的简便性和可重复性都会提高。

仪器介绍：

- DPOPWR 软件提供了杰出的解决方案，可以动态测试磁性损耗和磁性器件特性，如电感和 B-H 曲线。
- DPOPWR 提供了自动计算功能，在电路活动时，可以测量高功率开关上的可重复开关损耗和传导损耗。

7



AC-DC 电源，
效率测量设置

功率分析仪显示
两个 AC-DC 电
源的效率

GROUP A Ch1	GROUP B Ch2	GROUP C Ch2	GROUP D Ch4	Result t332
Vrms 109.85	Vrms 12.077	Vrms 109.88	Vrms 11.965	V
Arms 330.82	mA Arms 1.3762	A Arms 136.85	mA Arms 527.76	mA
Watt 20.628	W Watt 16.620	W Watt 7.3105	W Watt 6.3129	W
VA 36.339	Va Vdc 12.077	V VA 15.037	Va Vdc 11.965	V
Freq 60.000	Hz Adc 1.3762	A Freq 60.000	Hz Adc 527.63	mA
PF 0.5677		PF 0.4862	VII	----
Apk+ 1.0227	A	Apk+ 494.55	mA	
Apk- -1.0184	A	Apk- -485.91	mA	
Vdc 10.299	mV	Vdc 37.148	mV	
EFFICIENCY1	80.569 %	EFFICIENCY2	86.329 %	
----		----		
----		----		
----		----		
				02:02P 11/20

效率和指标测试

现在要查看设计是否满足效率标准和其他要求的指标，如线路和负载稳压、纹波、噪声、短路保护和瞬态响应。

- 使用高精度多通道功率分析仪测量效率，同时使用电子负载从空载到满载扫描电源。
- 对负载稳压，在设计的输入端子和输出端子上直接使用高精度 DMM。然后，从最小值到最大值扫描负载。记住，非常重要的一点是在测试过程中使输入电压保持恒定。记录输出电压相对于负载的任何变化，确定负载稳定。
- 可以使用类似的设置测试线路稳压，其中在恒定负载中测量输出电压，同时从最小值到最大值扫描输入 AC 电压。这种测试对通用输入电源尤其重要。
- 检查全负载时的噪声和纹波，应使用为高分辨率测量优化的示波器或高精度图形采样万用表。示波器一般会提供更高的带宽，而万用表的精度则更高。

测量小贴士：

- 如果要测量低电平电压，如纹波，应使低衰减探头（尽可能使用 1X 或 2X），以便在示波器测量中获得最好的信噪比。
- 在线路或负载稳压测试中，不要依赖 AC 电源或电子负载读数，而应在电源端子上直接使用精密仪器，这将改善测量精度，最大限度地减少输入电缆和输出电缆中的电压暂降。
- 在使用示波器测量高频噪声和纹波时，应使用低电感接地弹簧探头适配器或类似装置。标准探头地线可以看做天线，从荧光灯和其他来源中引入环境噪声，可能会在读数中产生明显误差。

你知道吗？

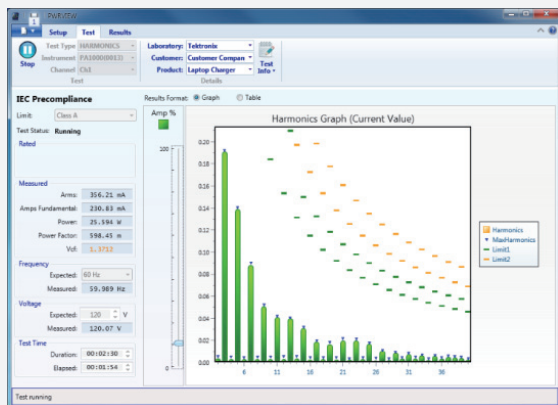
- 泰克 PA3000 提供了 0.04% 精度和 10mW 待机功率测量功能，可以从空载到满载准确地进行效率和功率测量。
- 吉时利 2380 DC 电子负载可以吸收各种电流和电压，包括 200 W、250 W 和 750 W 三个版本。
- 吉时利 DMM7510 图形采样万用表有一个 18 位 1 MS/s 的模数转换器，可以准确捕获快速瞬变信号和小的纹波。

了解更多信息

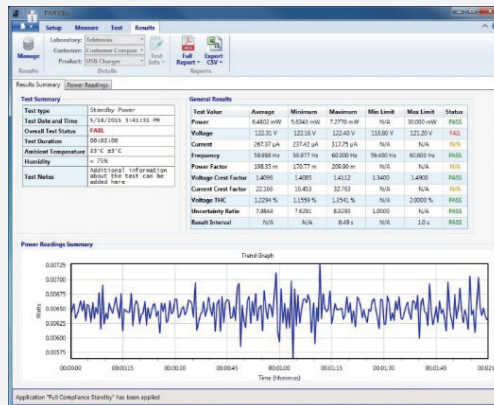
使用 PA3000 功率分析仪进行效率测量 (LEVEL VI) 视频：

www.tek.com/how/efficiency-measurement-level-vi-power-supply

8



IEC 61000-3-2 电流谐波测试



IEC 62301 Ed 2. 待机功率测试

电源线一致性测试

恭喜！您的第一台原型应已经能够启动运行。现在要检查设计，确保其满足本地电源线标准。

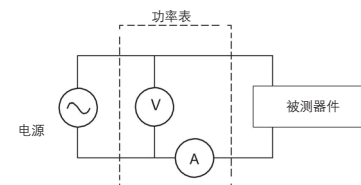
- 大多数 AC-DC 电源都是为使用 AC 墙上插座而设计的。因此，它们需要满足严格的功耗和功率质量标准，如 IEC 62301 待机功率和 IEC 61000-3-2 电流谐波标准。应一直在设计周期早期执行一致性测试，以帮助避免未来发生的问题。
- 确保测试电流谐波使用的功率分析仪满足 IEC 61000-4-7 测量技术标准。

仪器介绍：

- 泰克为 IEC61000-3-2 电流谐波提供了预一致性测试解决方案，为 IEC62301 待机功率和能源之星及用户自定义极限提供了一致性测试解决方案，而且价格非常经济。
- PA1000 功率分析仪拥有 20 μ A 电流测量功能，可以测量最低 5 mW 的待机功率。
- 泰克接线盒为负载测量和源侧测量提供了两个不同的端子，使用起来方便安全，可以获得准确的微小功率读数，执行待机功率测试。

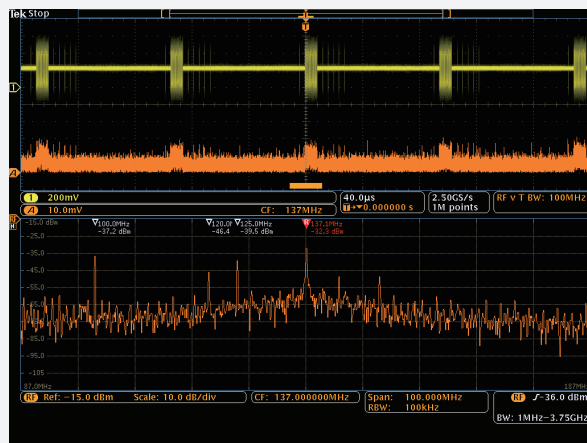
测量小贴士：

- 不用等待，可以使用低成本的预一致性测试解决方案，测试是否满足 CE 标志、能源之星、IEC 待机谐波标准。这可以省去设计周期后面大量的时间和麻烦。应尽早且经常进行预一致性测试。

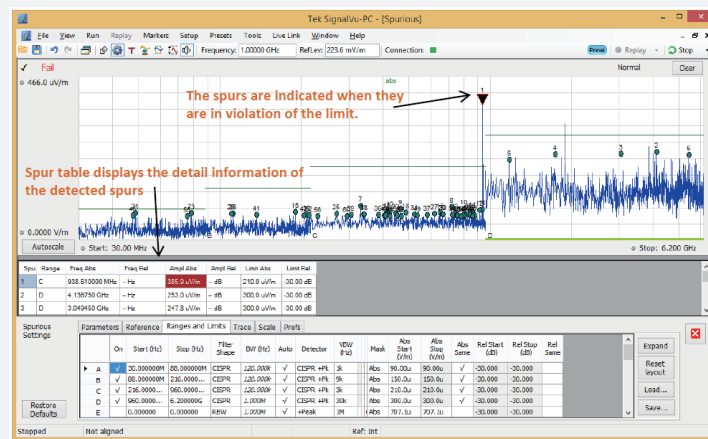


- 在测量低待机功率和失真的待机功率时，应检查连接方法。接线方法不当可能会导致错误的测量结果。建议要采用电流表内置的方法，将电压表靠近源端，这样就不会将电压表分流的电流引入导致测试误差。

9



使用 MDO4000 示波器上的时频域联调进行 EMI 调试



使用 RSA306 实时频谱分析仪执行预一致性 EMI 扫描

EMI 调试和预一致性测试

由于测试难度和测试成本，EMI 和 RFI 测试在早期设计阶段经常被忽略。但是，随着设计期限的迫近，忽略这个步骤可能会导致意外事件和项目延迟。

- 应在设计早期测试 EMC 问题，以避免不必要的电路板返工和延期。您可以利用频谱分析仪和预先设定的 EMI 一致性测试模板，在去认证机构进行一致性测试之前执行预一致性测试，找到并解决 EMI 问题，保证一次性通过认证。
- 使用混合域示波器 (MDO)，其中内置频谱分析仪和近场探头，迅速找到 EMI 的来源。借助示波器和频谱解调图，您可以简便地测量频谱峰值，找到根本原因。

了解更多信息

实际 EMI 调试应用指南：

www.tek.com/document/application-note/practical-emi-troubleshooting

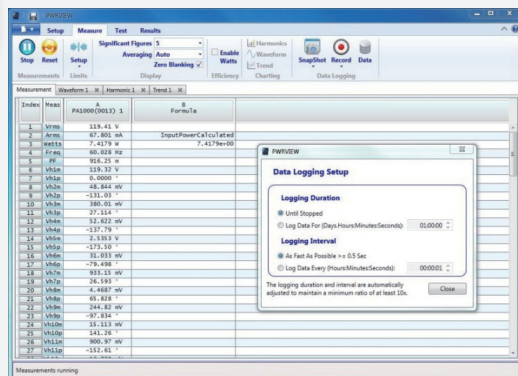
测量小贴士：

- 使用经济的 EMI 预一致性测试解决方案在原型板阶段早期测试 EMC 和 RFI 一致性，节省整个项目周期的时间和资金。
- 使用近场探头及混合域示波器或频谱分析仪，找到和确定 RF 来源。

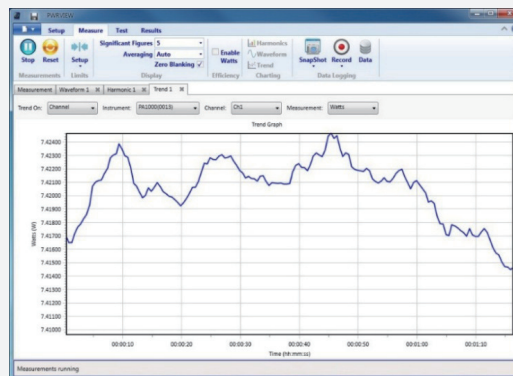
仪器介绍：

- MDO4000 系列示波器可以帮助您查看整个系统，测量模拟信号、数字信号、串行总线信号及无线射频信号之间的关系。
- 泰克 RSA306 提供了实时频谱分析功能，可以确定持续时间短的 EMI 突发。长记录时间可以帮助您捕获偶发突发。

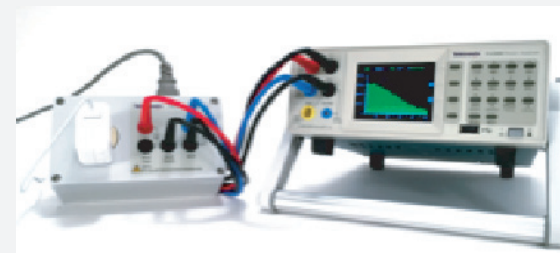
10



定制记录条件和设定极限参数，实现自动化



显示趋势图便于验证测试



PA1000 功率分析仪和接线盒连接设置

设计验证

您已经全面测试第一个原型板阶段，现在进入下一阶段。

- 最好重复之前讨论的所有测试步骤，进行完整性检查。
- 在检查所有项目后，应把更多的工作放在设计上，检查其可靠性。
- 对输入电源质量进行完整的测试，这一步对通用输入电源至关重要。
- 从空载到满载全范围扫描，以针对所有可能的工作条件测试。
- 使用高低温试验箱进行寿命测试，这可以检查设计在真实环境中的性能。

测量小贴士：

- 使用有额定输入的 AC 电源，且经过 IEC 测试认证，这将有助于确保您的产品通过一致性测试。
- 在电源的输入和输出上使用功率分析仪，测量所有 AC 输入参数，如功率因数、波峰因数、谐波、峰值电流和系统效率。

仪器介绍：

- PWRVIEW 软件及泰克功率分析仪提供了效率、待机功率、谐波和能耗 (WHr) 测试及大量的图表和记录功能，可以进行长时间设计验证。

访问：

www.tek.com/application/power-supply-measurement-and-analysis, 获得成套电源资料、产品演示或报价。