



使用 MSO/DPO 系列示波器 进行电源测量和分析

引言

从儿童玩具到计算机和办公设备、再到工业设备，许多不同的电子设备都会使用电源，电源用来把电能从一种形式转换成另一种形式，以使设备正确运行。常见的电源实例包括：把AC电压转换成稳定的DC电压的AC到DC转换器；把电池电源转换成要求的电压电平的DC到DC转换器。

使用 MSO/DPO 系列示波器进行电源测量和分析

应用指南

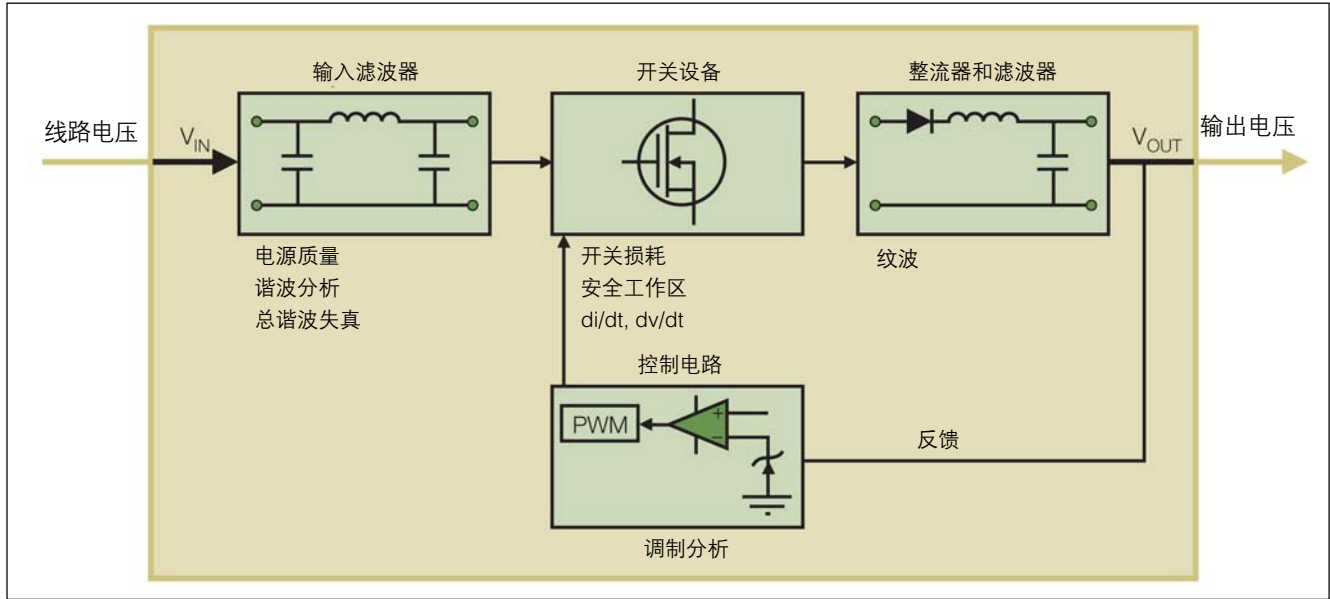


图 1. 使用 DPOxPWR 电源分析软件检定 SMPS 元件。

电源分成许多不同的类型和规格，包括传统线性电源到为复杂动态工作环境设计的高效开关式电源(SMPS)。设备负载和需求在不同时间之间可能会大幅度变化。即使是商用开关电源也必须能够承受突然出现的远远超过平均工作电流的峰值电流。从静止条件到最坏情况条件，设计电源的工程师或使用电源的系统需要了解电源在各种条件下的行为。

从历史上看，检定电源行为意味着使用数字万用表进行静态电流和电压测量，然后在计算器或计算机上进行麻烦的计算。今天，大多数工程师正转向示波器，作为首选的电源测量平台。

本应用指南将介绍使用泰克 MSO/DPO4000 或 MSO/DPO3000 系列示波器进行常见的开关式电源测量，如图 1 所示。通过选配电源测量和分析软件(DPOxPWR)，这些示波器提供了自动测量功能，可以快速进行分析，简化设置，校正探头偏移，实现最大精度。

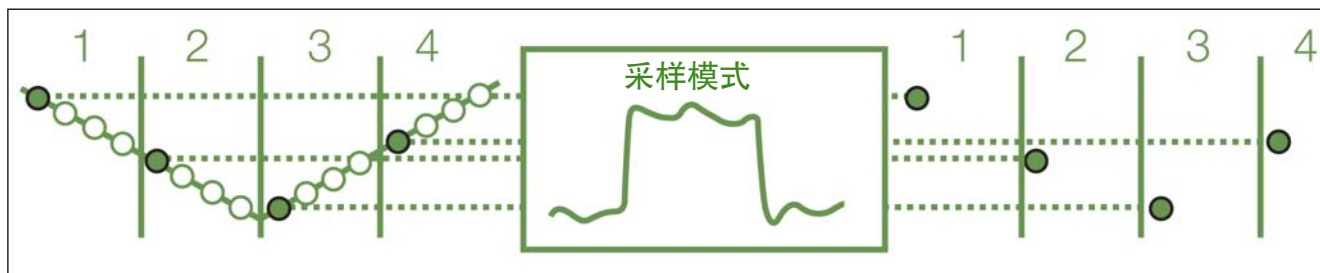


图 2. 采样模式。

准备电源测量

在理想情况下，电源的工作方式应与设计和建模的性能一模一样。但事实上，各种元件都是不完美的：负载会变化，电源可能会失真，环境变化会影响性能。提高性能、改善效率、缩小尺寸和降低成本的需求，则进一步提高了电源设计的复杂性。

考虑到这些设计挑战，必须正确设置测量系统，准确捕获波形进行分析和调试。要考察的主要课题有：

- 示波器采集模式
- 消除电压探头和电流探头之间的偏移
- 消除探头偏置
- 电流探头消磁
- 带宽限制滤波器

示波器采集模式

示波器采集模式控制着怎样采样、处理和显示电信号。得到的波形点是数字值，存储在存储器中，构成波形显示。大多数示波器支持不同的采集模式，选择的采集模式可能会影响电源测量的精度。必需了解采集模式怎样工作以及其对波形和后续电源测量的影响。

每台示波器都提供了采样模式，这是最简单的采集模式。如图 2 所示，通过在每个波形间隔中保存一个样点(波形间隔在图中表示为 1, 2, 3, 4)，示波器创建一个波形点。采样模式建议用于要求在不重复信号上进行多次采集的测量，如纹波和噪声分析。

使用 MSO/DPO 系列示波器进行电源测量和分析

应用指南

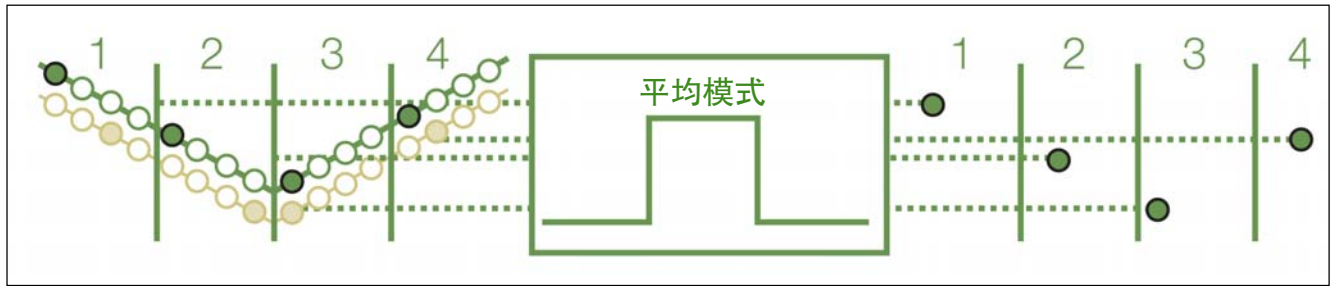


图 3. 平均模式。



图 4. Hi-Res 模式。

大多数示波器制造商提供的另一种采集模式是平均模式。在平均模式下，示波器象采样模式一样，在每个波形间隔中保存一个样点。但是，在平均模式下，将平均来自连续采集的对应波形点，生成最终显示的波形，如图3所示。平均模式降低了噪声，而又不会损害带宽，但要求重复信号。平均模式特别适合执行谐波分析或电源质量分析测量，如真实功率、无功功率和视在功率。泰克还

提供了 Hi-Res 模式。在这种模式下，将平均在一个波形间隔内采集的多个连续样点，从单个采集中生成一个波形点，如图 4 所示。其结果，降低了带宽，进而降低了噪声，改善了低速信号的垂直分辨率。Hi-Res 特别适合为电源供电及在一次采集中采集数据时进行调制分析。Hi-Res 可以改善测量精度，如开关损耗，这些测量基于数学计算值，如瞬时功率。

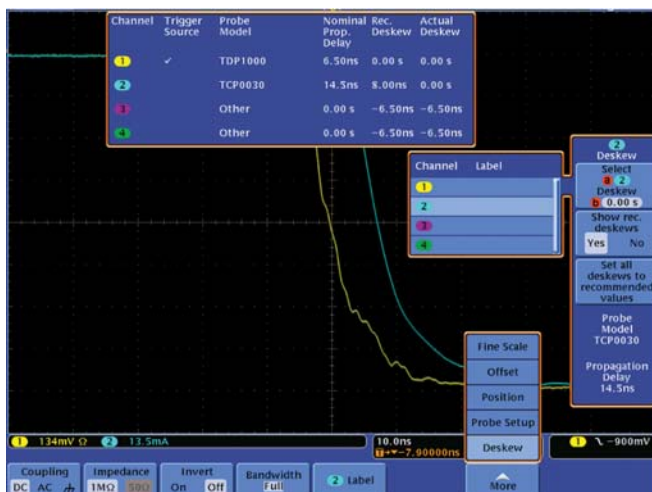


图 5. 电压探头和电流探头之间的默认定时偏移。

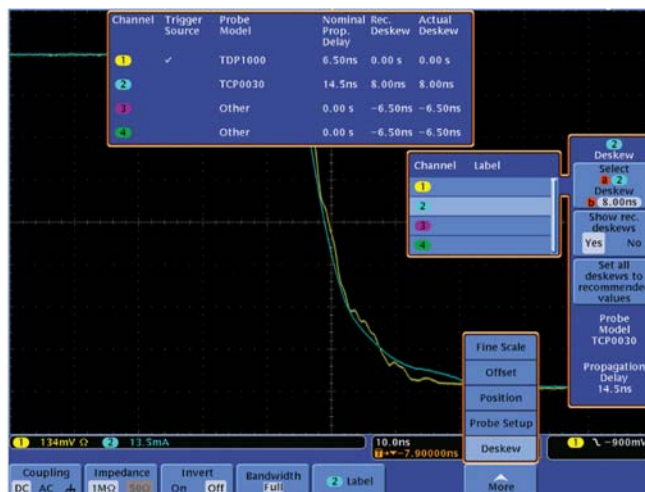


图 6. 校正电压探头和电流探头之间标称定时偏移。

消除电压探头和电流探头之间的偏移

在使用数字示波器进行电源测量时，必需测量流经被测设备的电压及电流。这一任务要求使用两只不同的探头：一只电压探头（通常是高压差分探头），一只电流探头。每只电压探头和电流探头都有自己的特性传播延迟，在这些波形中产生的边沿不可能自动对准。电流探头和电压探头之间的延迟差称为偏移，会导致幅度和定时测量不准确。必需了解探头的传播延迟对最大功率值和面积测量的影响，因为功率是电压和电流的乘积。如果两个相乘的变量没有完美对准，那么会得到不正确的结果。

泰克 MSO 和 DPO 系列提供了“偏移校正”功能，消除探头之间的偏移。在选择 Deskew 菜单后，会显示一个信息框，其中描述了每条通道的探头型号、标称传播延迟、推荐偏移校正和实际偏移校正。图 5 中的电压和电流波形有大约 8 ns 的偏移，信息框中显示了每只探头的传播延迟。TDP1000（泰克差分电压探头）的标称传播延迟为 6.5 ns，TCP0030（泰克电流探头）的标称传播延迟为 14.5 ns，传播延迟相差 8 ns。

为校正探头之间的偏移，只需简单地选择“Set all deskews to recommended values”侧面聚光按钮，如图 6 所示。选择这个选项将把探头的 Actual Deskew（实际偏移校正）值调节到 Recommended Deskew（推荐偏移校正）值。Recommended Deskew 值基于探头的标称传播延迟，标称传播延迟存储在探头的内存中，其前提是探头支持 TekVPI®，一般支持自动校正探头偏移。

使用 MSO/DPO 系列示波器进行电源测量和分析 应用指南

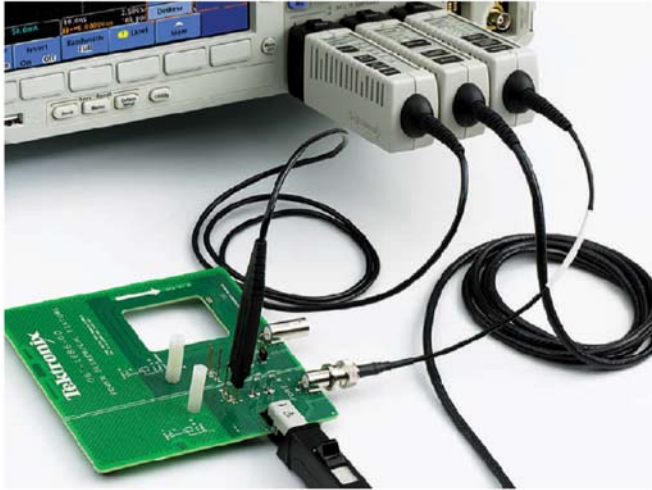


图 7. 泰克偏移校正脉冲发生器和偏移校正夹具。

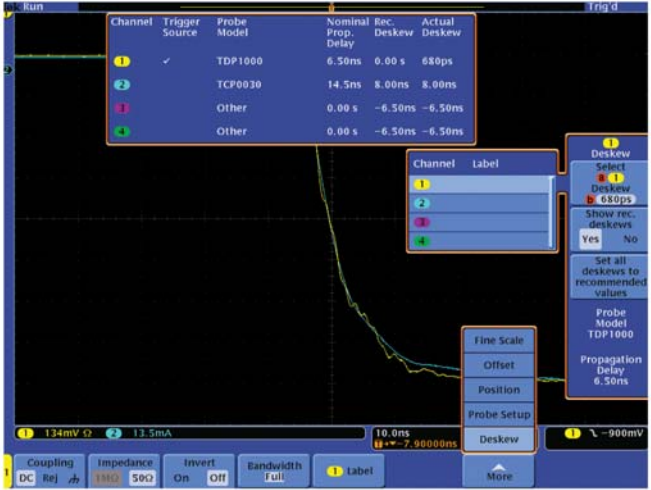


图 8. 泰克 TCP0030 AC/DC 电流探头，带有消磁/自动清零功能。



图9. 具有消磁/自动清零功能的泰克TCP0030 AC/DC电流探头。

选择“Set all deskews to recommended values”将考察探头的标称传播延迟差，它将非常接近正确的偏移校正，但仍不能精确地对准波形。为精确对准波形，实现最大测量精度，要求使用TEK-DPG (偏移校正脉冲发生器)和偏移校正夹具。

TEK-DPG 为电源测量偏移校正夹具(泰克部件编号 067-1686-XX)提供了一个源信号。在把探头连接到偏移校正夹具上后，可以手动拨入“Actual Deskew”，改变偏移校正值，精确对准波形。图 8 说明 TDP1000 探头的 Actual Deskew 值已经调节了 680 ps，从 6.5 ns 调节到 7.18 ns，实现了最大精度。

消除探头偏置

差分探头一般会有较小的电压偏置。这个偏置会影响精度，在继续测量前必须消除这个电压偏置。大多数差分电压探头拥有内置的 DC 偏置调节控制功能，可以相对简单地消除偏置。

在进行测量前，可能还需要调节电流探头。通过把 DC 余额清零到平均值 0 A 或尽可能接近 0 A，可以调节电流探头偏置。基于 TekVPI 的探头如 TCP0030 AC/DC 电流探头内置自动消磁/自动清零程序，用户只需在探头补偿盒上按一个按钮就可以了。

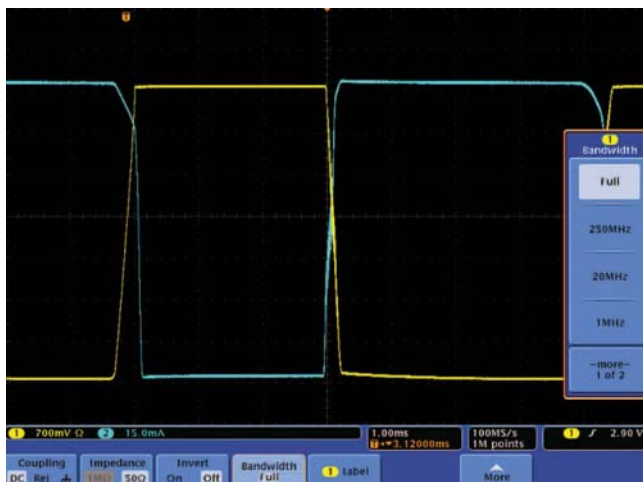


图 10. 连接 TDP1000 的 MSO/DPO4000 系列示波器上提供的带宽限制滤波器。

消磁

电流探头还应包括简便易用的消磁功能。消磁功能去掉变压器核心中残余的任何 DC 通量，这可能是由输入电流量过大而引起的。这种残余通量会导致输出偏置误差，应去掉这种误差，以提高测量精度。

泰克 TekVPI 电流探头提供了一个消磁警告指示灯，会警告用户将执行消磁操作。由于电流探头随着时间推移可能会有明显的漂移，进而影响测量精度，因此消磁警告指示灯是一种实用功能。

带宽限制滤波器

限制示波器带宽从显示的波形中去掉噪声或不想要的高频成分，提高信号的干净程度。MSO/DPO 系列提供了内置带宽限制滤波器，如图 10 所示。在某些情况下，探头可能还会配备带宽限制滤波器。

用户在使用这些滤波器时要小心，因为可能会从测量中去掉 n 阶谐波中包含的频率成分。例如，如果要测量 1 MHz 信号，要评估直到 40 阶谐波，那么至少要求 40 MHz 的系统带宽。把带宽限制滤波器设置成 20 MHz (这是图 10 所示实例中提供的选项) 将删除这一测量要求的频率成分。

电源测量

在正确设置测量系统后，可以开始执行电源测量。常用的电源测量可以分成三类：输入分析、开关设备分析和输出分析。

输入分析

实际环境电源线永远不会提供理想的正弦波，线路上总有一些失真和不纯。开关式电源为电源提供了非线性负载。因此，电压波形和电流波形并不是完全相同的。在输入周期某个部分会吸收电流，导致在输入电流波形上生成谐波。分析电源输入时的主要测量项目有：

- 谐波
- 电源质量

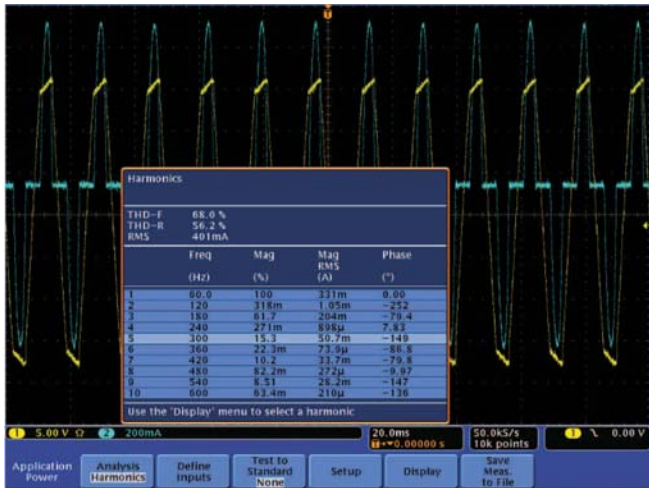


图 11. DPOxPWR 谐波分析。

谐波

开关电源一般会生成以奇数阶为主的谐波，直到电网。其影响具有累积性特点，随着连接到电网的开关电源越来越多(如办公室中增加更多的台式电脑),返回电网的谐波失真的总百分比会上升。由于这种失真会导致热量在电网的线缆和变压器中积聚,因此必需使谐波达到最小。业内制订了 IEC61000-3-2 等法规标准,监控来自特定非线性负载的电源质量。

确定这些失真的影响是电源工程设计的一个重要部分,使用示波器、而不是万用表具有明显的好处。测量系统必须能够捕获直到基础频率50阶谐波的谐波成分。电源线频率通常为 50 Hz 或 60 Hz,但对某些军事和航空应用,线路频率可能是 400 Hz。应该指出的是,信号畸变可能包含频谱成分,其中带有更高的频率成分。由于现代示波器的高采样率,可以以非常高的细节(分辨率)捕获快速变化的事件。相比之下,传统功率计会由于反应时间相对较慢而漏掉信号细节。

执行谐波分析就象进行普通波形测量一样简便。由于在这种情况下信号是重复的周期波形,因此触发和显示起

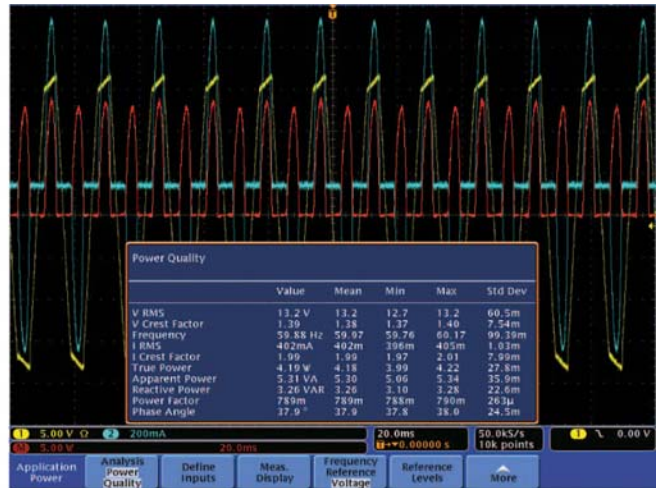


图 12. DPOxPWR 电源质量测量。

来非常简单。应至少显示五个周期,以保证良好的频率分辨率,垂直标度应设置成信号在显示屏上占用尽可能多的竖格,以优化示波器的动态范围。

图 11 显示了电源负荷电流的谐波分析结果。在 Display 菜单中,可以选择特定谐波测量。本例中选择了五阶谐波。用户可以选择以表格方式或以图形方式查看结果,并可以选择是否查看“All, Odd 或 Even”谐波。谐波数据可以保存为 CSV 文件,保存到 USB 存储设备或 CompactFlash 卡中。另外还显示相对于基础谐波和 RMS 值的总谐波失真(THD)值。这些测量功能适用于分析是否满足 IEC61000-3-2 和 MIL-STD-1399 等标准,DPOxPWR 电源测量应用软件中提供了这些功能。

电源质量

电源质量不只是依赖发电机,还依赖电源和最终用户负载。电源上的电源质量特点决定着电源的“健康”状况,决定着非线性负载导致的失真影响。如图 12 所示,DPOxPWR 电源应用软件使用下述自动测量功能提供一个结果表: V_{RMS} 和 I_{RMS} 、电压和电流峰值因数、真实功率、无功功率、视在功率和功率因数。



图 13. DPOxPWR 测量 IGBT 上的开关损耗。

开关设备分析

大多数现代系统中流行的 DC 电源结构是开关式电源 (SMPS)，这些电源因能够高效处理变化的负载而闻名。SMPS 最大限度地减少了损耗元件的使用，如电阻器和线性模式晶体管，而重点使用没有损耗(理想情况下)的元件：开关式晶体管、电容器和磁性元件。SMPS 设备还包括一个控制段，其中包含脉宽调制稳定器、脉冲速率调制稳定器和反馈环路等单元。

SMPS 技术依托电源半导体开关设备，如金属氧化物场效应晶体管(MOSFET)和绝缘门双极晶体管(IGBT)。这些设备提供了快速开关时间，能够耐受没有规律的电压峰值。此外，其在 On 状态或 Off 状态下消耗的功率非常小，实现了很高的效率，而生成的热量很低。开关设备在很大程度上决定着 SMPS 的整体性能。开关设备的关键测量项目包括：

- 开关损耗
- 安全工作区
- 转换速率

开关损耗

晶体管开关电路一般会在转换过程中消耗最大的能量，因为电路寄生信号会阻碍多台设备同时开关。在从 OFF 状态转换到 ON 状态时开关设备(如 MOSFET 或 IGBT)中丢失的能量称为启动损耗。类似的，在开关设备从 ON 状态转换到 OFF 状态时丢失的能量称为关闭损耗。由于寄生电容中的耗散单元及二极管中存储的电感和电荷，晶体管电路会在开关过程中丢失能量。正确分析这些损耗对检定电源及测量其效率至关重要。

如图 13 所示，在选定采集区域内完整周期(在默认状态下是整个波形)上进行开关损耗测量，将在采集中、而不是采集之间累积这些测量项目的统计数据。

测量启动损耗和关闭损耗的主要挑战是损耗在非常短的时间周期内发生，同时在开关周期其余时间的损耗达到最小。这要求电压波形和电流波形之间的定时非常精确，测量系统偏置要最小化，测量的动态范围要足以准确地测量 On 和 Off 电压和电流。如前所述，必须清零探头偏置，必须对电流探头消磁，去掉探头中任何残留的 DC 通量，必须使通道之间的偏移达到最小。

使用 MSO/DPO 系列示波器进行电源测量和分析 应用指南

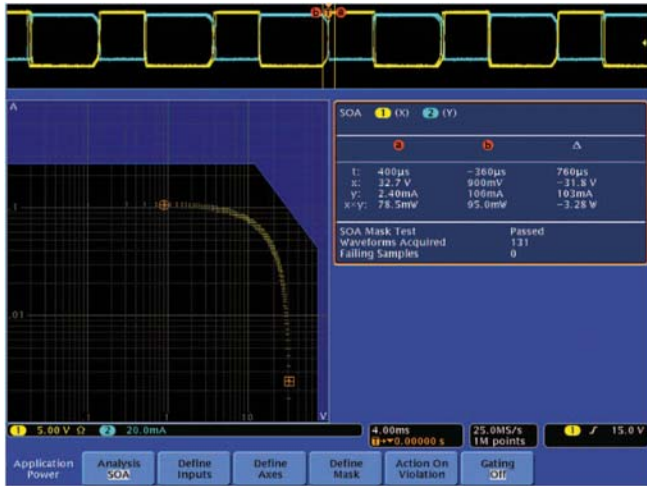


图 14. DPOxPWR SOA 模板测试。

另一个主要挑战是准确测量开关损耗要求高动态范围。开关设备中的电压在 On 状态和 Off 状态之间大幅度变化,因此在一次采集中很难同时准确地测量这两种状态。有三种方式使用 MSO/DPO 系列确定正确值:

- 测量传导过程中开关设备的电压下跌。由于这个电压与未传导时开关设备中的电压相比一般非常小,因此通常不可能在示波器相同的垂直设置下同时准确地测量这两个电压。
- 根据设备技术资料提供 RDS(on) 值(最佳的 MOSFETs 模型)。这个值是传导时设备漏极和源极之间的预计开点电阻。
- 根据设备技术资料提供 VCE(sat) 值(最佳的 BJT 和 IGBTs 模型)。这是饱和时从设备集电极到发射机的预计饱和电压。

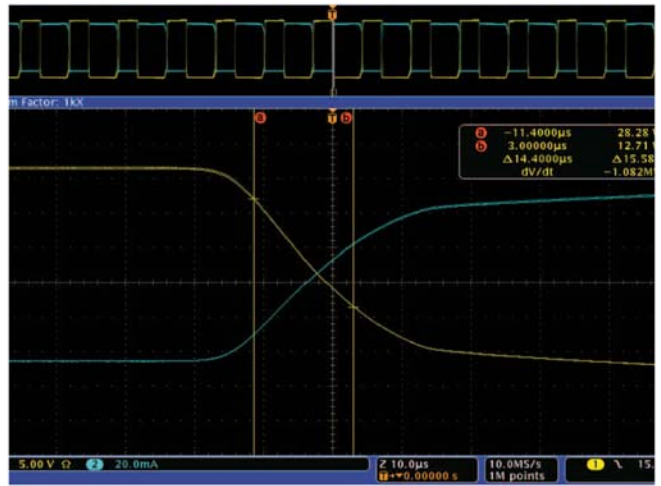


图 15. DPOxPWR 转换速率测量。

安全工作区(SOA)

晶体管的安全工作区(SOA)定义了设备在不会自行损坏的情况下工作的条件,特别是电压一定时有多少电流可以通过晶体管。如果超过这些限制,晶体管可能会失效。SOA 是一种图形测试技术,它考虑了开关设备的各种限制,如最大电压、最大电流、最大功率,保证开关设备在规定极限范围内正常运行。

开关设备制造商的产品技术资料会概括对开关设备的某些限制。其目标是保证开关设备将容忍电源在最终用户环境中必须处理的工作边界。SOA 测试变量可能包括各种负载场景、工作温度变化、高和低线路输入电压等等。如图 14 所示,可以创建一个用户自定义模板,保证开关设备在电压、电流和功率方面满足规定的容限。模板违规在电源应用中会报告为故障。

转换速率

为检验开关设备实现最大工作效率,必须测量电压信号和电流信号的转换速率,检验电路操作满足规范。如图 15 所示,可以使用示波器,利用测量光标,确定开关信号的转换速率,简化门驱动检定和开关 dv/dt 或 di/dt 计算。

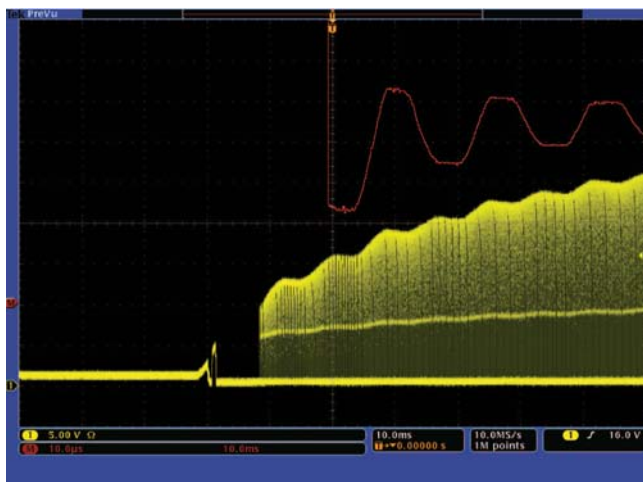


图 16. DPOxPWR 在 IGBT 门驱动开机过程中进行调制分析。

输出分析

在理想情况下,DC电源的输出不应有任何开关谐波或其它不理想的噪声成分。实际上这是不可能的。输出分析测量对确定输入电压或负载变化对输出电压的影响至关重要。这些测量包括:

- 调制分析
- 纹波

调制分析

MSO/DPO4000和MSO/DPO3000系列的数字荧光采集技术在调试设计时提供了独特的优势,特别是识别开关

电源中过度调制影响。这些示波器拥有 50,000 wfm/s 波形捕获速率,比普通数字存储示波器(DSO)高了许多倍。在考察调制效应时,这提供了两种优势。第一,示波器在更多的时间内是活动的,处理波形进行显示所用的时间较少。因此,示波器捕获调制的机会明显提高。第二,数字荧光显示技术可以更简便地实时查看被调制波形。显示屏会高亮度显示信号轨迹经过最频繁的区域,这在很大程度上与模拟示波器类似。调制比连续重复的主波形暗,因此更容易查看。

还可以使用泰克示波器简便地测量调制效应。图 16 显示了控制着电源上电流模式控制环路输出的被调制信号。在反馈系统中,调制对控制环路具有重要意义。但是,调制太多会导致环路变得不稳定。注意在调制频次较低的区域中波形较暗。红色的波形是数学运算波形,显示了在电源振荡器启动时,在 IGBT 门驱动信号上进行的周期间脉宽测量的发展趋势。由于数学运算波形代表脉宽测量值(采用时间单位),可以使用光标测量脉宽变化。数学运算值表示采集的波形中选定调制测量的发展趋势。在本例中,它表示振荡器控制环路在启动过程中的响应。还可以使用这种调制分析,测量电源控制环路对输入电压变化(“线路稳压”)或负载变化(“负载稳定”)的响应。

使用 MSO/DPO 系列示波器进行电源测量和分析 应用指南

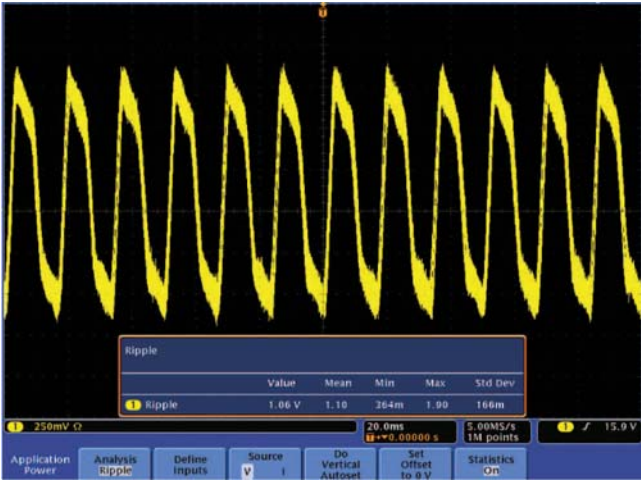


图 17. DPOxPWR 纹波测量。

纹波

纹波是叠加到电源 DC 输出上的 AC 电压，它表示为正常输出电压的百分比或峰峰电压。线性电源通常会看到接近于线路频率两倍(~120 Hz)的纹波，而开关电源可能会看到几百 kHz 的开关纹波。

总结

电源是几乎每种电源供电和电池供电的电子产品不可分割的组成部分，开关式电源(SMPS)已经成为许多应用中的主导结构。一个开关式电源的性能或故障可能会影响大型昂贵的系统的命运。

为保证新兴 SMPS 设计的可靠性、稳定性、性能和一致性，设计工程师必须执行许多复杂的电源测量。带有 DPOxPWR 电源分析应用模块的泰克 MSO/DPO4000 或 MSO/DPO3000 系列示波器明显简化了电源分析工作。自动电源测量，如谐波、电源质量、开关损耗、安全工作区、转换速率、调制和纹波，保证了快速分析能力，同时简化了探头设置和偏移校正。


哪种示波器适合您？

MSO/DPO 系列提供了多种型号，可以满足您的需求和预算。


	MSO/DPO4000 系列	MSO/DPO3000 系列
带宽	1 GHz, 500 MHz, 350 MHz 型号	500 MHz, 300 MHz, 100 MHz 型号
通道数量	2 条或 4 条模拟通道, 16 条数字通道(MSO 系列)	2 条或 4 条模拟通道 16 条数字通道(MSO 系列)
记录长度(所有通道)	10 M	5 M
采样率(模拟)	5 GS/s, 2.5 GS/s	2.5 GS/s
彩色显示器	10.4 英寸 XGA	9 英寸 WVGA
电源分析应用模块	DPO4PWR	DPO3PWR

MSO 和 DPO 系列示波器配有泰克通用探头接口。TekVPI 探头用途广、功能多、使用简便。


TekVPI 高压差分探头

	特点	型号
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 从毫伏到千伏，宽动态电压范围 ■ 示波器接地，安全测量浮动电路或提升电路 	<ul style="list-style-type: none"> - P5205^{1,2} - P5210^{1,2}

TekVPI 中压差分探头

	特点	型号
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 提供 GHz 性能，分析开关式电源(SMPS)设计。 ■ 多功能被测设备(DUT)连接能力，简便易用。 	<ul style="list-style-type: none"> - TDP1000¹ - TDP0500¹

TekVPI 电流探头

	特点	型号
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 杰出的带宽(DC – 120 MHz)，宽动态范围(毫发到几百安)。 ■ 分芯结构，更简便、更快捷地连接被测设备(DUT)。 	<ul style="list-style-type: none"> - TCP0030¹ - TCP0150¹

¹ 在示波器总耗电量超过 20W 时，MSO/DPO3000 系列要求 TekVPI 外部电源 119-7465-XX。

² 要求 TPA-BNC 适配器。

使用 MSO/DPO 系列示波器进行电源测量和分析

应用指南

泰克提供方便的电源分析捆绑套件，包括进行本应用指南中介绍的所有测量所需的全部探头、适配器、软件和偏移校正设备。

	MSO/DPO3000 系列电源分析捆绑套件 (DPO3PWRBND)	MSO/DPO4000 系列电源分析捆绑套件 (DPO4PWRBND)
软件	DPO3PWR 电源分析模块	DPO4PWR 电源分析模块
探头和适配器	P5205 1300V 高压差分探头 TDP0500 42V 中压差分探头 TCP0030 AC/DC, 30A 电流探头 TPA-BNC TekVPI™ 接口适配器	P5205 1300V 高压差分探头 TDP0500 42V 中压差分探头 TCP0030 AC/DC, 30A 电流探头 TPA-BNC TekVPI™ 接口适配器
偏移校正设备	TEK-DPG 偏移校正脉冲发生器 067-1686-xx 电源测量偏移校正夹具	TEK-DPG 偏移校正脉冲发生器 067-1686-xx 电源测量偏移校正夹具

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) 6235 1210/1230
传真: (86 10) 6235 1236

泰克上海办事处

上海市静安区延安中路841号
东方海外大厦18楼1802-06室
邮编: 200040
电话: (86 21) 6289 6908
传真: (86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处

深圳市罗湖区深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦G1-02室
邮编: 518008
电话: (86 755) 8246 0909
传真: (86 755) 8246 1539

泰克成都办事处

成都市人民南路一段86号
城市之心23层D-F座
邮编: 610016
电话: (86 28) 8620 3028
传真: (86 28) 8620 3038

泰克西安办事处

西安市东大街
西安凯悦(阿房宫)饭店345室
邮编: 710001
电话: (86 29) 8723 1794
传真: (86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处

武汉市汉口建设大道518号
招银大厦1611室
邮编: 430022
电话: (86 27) 8781 2760/2831

泰克香港办事处

香港铜锣湾希慎道33号
利园3501室
电话: (852) 2585 6688
传真: (852) 2598 6260

更详尽信息

泰克公司备有内容丰富、并不断予以充实的应用文章、技术简介和其他资料,以帮助那些从事前沿技术研究的工程师们。请访问
www.tektronix.com.cn



版权 © 2009, 泰克公司。泰克公司保留所有权利。泰克公司的产品受美国和国际专利权保护,包括已发布和尚未发布的产品。以往出版的相关资料信息由本出版物的信息代替。泰克公司保留更改产品规格和定价的权利。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克有限公司的注册商标。所有其他相关商标名称是各自公司的服务商标或注册商标。

04/09 JS/WWW

3GC-23612-1

Tektronix®