



开关电源测量

应用指南

使用 Agilent InfiniiVision 3000/4000 X 系列示波器并
结合开关电源测量选件



简介

配有开关电源测量选件的 Agilent 3000 和 4000 X 系列示波器能够提供一个快速且方便的方法，帮助您分析开关电源的可靠性和效能。本应用指南将逐步说明如何执行广泛的开关电源 (SMPS) 分析测量，并详细介绍如何使用 Agilent SMPS 测量培训套件执行与被测器件 (DUT) 相同的测量。结合功率测量选件 (DSOX3PWR 或 DSOX4PWR)，Agilent InfiniiVision 3000 和 4000 X 系列示波器支持您执行以下开关电源的分析与测量：

输入分析

- 功率质量
- 电流谐波
- 浪涌电流

开关 / 调制分析

- 开关损耗
- 转换速率
- 调制

输出分析

- 输出纹波
- 启动 / 关闭
- 瞬时响应
- 电源抑制比 (PSRR)
- 效能



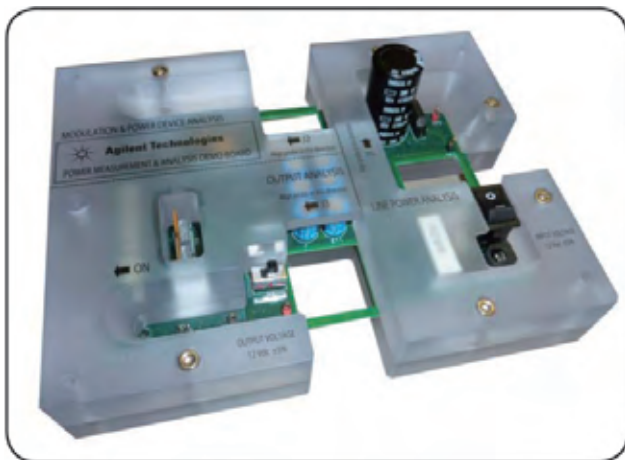


图 1: 安捷伦开关电源测量培训套件

所需设备

- 配有开关电源测量选件 (DSOX3PWR 或 DSOX4PWR) 的 Agilent 3000 或 4000 X 系列示波器
- 带有 USB 电缆的 U1880A 开关电源测量偏移校正夹具
- N2790A 高压差分有源探头，或同类产品
- 1147B 15A 电流探头，或同类产品
- 10:1 无源电压探头
- 开关电源 (SMPS) 或 Agilent SMPS 测量培训套件 (图 1)

目录

简介	1
探测技巧	3
校正探头偏移	5
功率质量分析	6
电流谐波分析	7
浪涌电流分析	8
开关损耗分析	9
转换速率分析	13
调制分析	14
输出纹波分析	15
启动 / 关闭分析	16
瞬时响应分析	18
PSRR 分析	20
效能分析	22
相关文献	23

探测技巧

如果使用 Agilent N2790A 高压差分有源探头(图2)进行开关电源测量,您可以将手动设置探头衰减为 **50:1** 以进行高达 140 V (直流和交流峰值) 的测量,或 **500:1** 以进行高达 1400 V 的测量。如果使用 Agilent SMPS 培训套件作为被测器件,则探头衰减应设置为 **50:1**。如果测量具有较高输入和开关电压的自有开关电源,则您需要使用 500:1 的探头衰减设置。

将 N2790A 头连接至 Agilent 3000/4000 X 系列示波器的一个输入通道,示波器将自动检测并设置该通道的探头衰减系数为 **50:1**;如果您手动设置探头衰减为 **500:1**,您需要在示波器探头菜单中为该通道手动输入 **500:1** 的衰减系数。

1147B 电流探头(图3)是一个 0.1 V/A 探头(10:1 衰减)。将探头与 Agilent 3000/4000 X 系列示波器任意输入通道连接,示波器可自动检测已连接电流探头,以进行电流测量。此外,示波器能够自动检测并补偿 10:1 探头衰减,用户无需进行任何设置。

将 1147B 电流探头连接至被测器件的电流环路时,请确保电路完全闭合且探头钳锁定。您可以向前滑动锁定装置,直到听到探头锁定的声音,以确保将探头固定在恰当的位置。



图2: Agilent N2790A 100-MHz 高压差分有源探头。



图3: Agilent 1147B 50-MHz 15A 交流/直流电流探头。

探测技巧

使用 1147B 电流探头对 Agilent SMPS 培训套件进行电流测量时，您可以非常轻松地将探头接入不同设计的 PC 电路板电流环路。但是，如果您测量自有的开关电源，电源可能无法提供经过设计的电流环路，这意味着您需要在原型电源电路中创建临时电流环路，以测量电流和功率。图 4 是一个串联电线环路与 FET 开关设备电源终端以测量漏极至源极电流的实例。为了测量输入交流电流，工程师通常会剥去电源线绝缘层以接入线路电流线。注意，虽然此方法快捷、简便，但安捷伦不建议您采用该方法。

长期使用的电流探头会产生磁性。使用电流探头测量电源时，您应不定时地对探头进行“消磁”（退磁）。您只需断开电流探头与被测器件连接，闭合探头钳，然后按下探头底部与示波器连接处的 **DEMAG** 按钮，便可消除探头磁性。注意，您也可以通过旋转 **ZERO ADJ** 旋钮来校准探头（和示波器）的偏置：旋转旋钮，直到基线电流波形与示波器显示屏上接地指示器相一致。



图 4: 在电源中创建特定的电流环路，以测量电流。

校正探头偏移

使用电压探头和电流探头等不同类型探头进行测量时，对探头进行偏移校正是十分必要的。自动偏移校正程序使用推荐的U1880A偏移校正夹具(图5)，可消除不同探头的传播时延差异，提高开关电源测量精度。对于开关损耗测量，晶体管开关打开和关闭相之间纳秒的差异也有可能造成功率和能量损耗测量出现大的误差，因此偏移校正十分重要。

1. 使用U1880A的USB电缆连接偏移校正夹具和示波器背部的USB端口。
2. 按下前面板的[Default Setup]键。
3. 按下前面板的[Analyze]键，然后按下Features功能键并选择Power Application。
4. 按下Analysis功能键，然后选择Power Quality。
5. 按下Signals功能键，然后按下Deskew功能键。注意，使用Current Harmonics和Switching Loss测量菜单也可以调用自动偏移校正功能。
6. 如图6连接图所示，设置偏移校正夹具上的S1开关为“小环路”设置。
7. 将N2790A高压差分有源探头分别连接示波器通道1输入以及U1880A偏移校正夹具上的J6(红色引线至红色测试点)和J7(黑色引线至黑色测试点)，如连接图所示。
8. 使用1147B电流探头连接示波器通道2输入与“小环路”，请参照偏移校正夹具的指示方向(电流流向电路板顶部)。
9. 按下示波器的Auto Deskew功能键。

完成自动偏移校正后，示波器显示应与图7类似。偏移校正因数将保留在通道2探头设置菜单中，不易丢失。您可以手动更改偏移校正因数，或在示波器[Save/Recall]菜单中执行“工厂默认设置”操作，将其重新设置为零。执行标准的前面板[Default Setup]操作不会重新设置偏移校正因数。

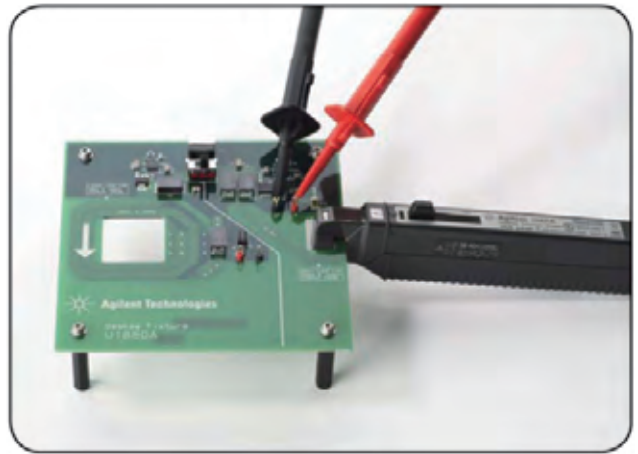


图5: Agilent U1880A 偏移校正夹具。

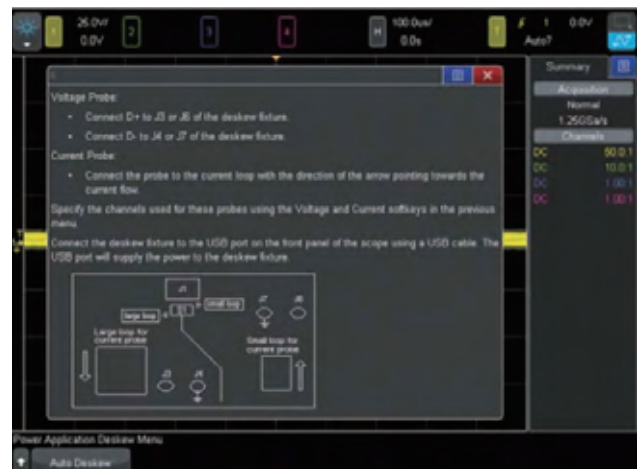


图6: 偏移校正连接图。



图7: 完成电压探头和电流探头间自动偏移校正之后的偏移校正显示。

功率质量分析

功率质量分析将测量输入交流线路信号的质量，该输入交流线路在工作时可为开关电源供电。该测量可提供以下输入信号质量参数：

- 实际功率 ($P = V_{\text{瞬时}} \times I_{\text{瞬时}}$ ，在 N 个周期内求平均值)
- 视在功率 (Apparent Power) ($S = V_{\text{RMS}} \times I_{\text{RMS}}$ ， N 个周期)
- 无功功率 (Reactive Power) ($Q = \text{视在功率} \times \sin(\phi)$)
- 功率因数 (Power Factor) ($\text{PF} = \text{实际功率} / \text{视在功率}$)
- 电压波峰因数 (Voltage Crest Factor) ($\text{CF}_V = V_{\text{峰值}} / V_{\text{RMS}}$)
- 电流波峰因数 (Current Crest Factor) ($\text{CF}_I = I_{\text{峰值}} / I_{\text{RMS}}$)
- 相位角 (Phase Angle) ($\phi = \arccos(\text{PF})$)

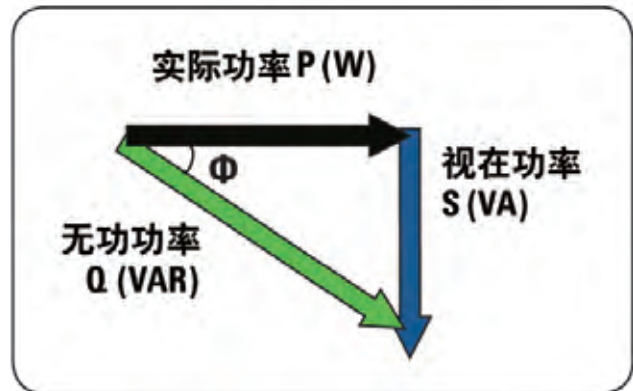


图7：视在功率、实际功率和无功功率。

1. 如果使用 Agilent SMPS 培训套件，设置 **S2** 负载开关为 **ON** 位置 (高负载、最大电流)。
2. 按下前面板上的 **[Default Setup]** 键。
3. 按下前面板的 **[Analyze]** 键，然后选择 **Features** 功能键下的 **Power Application**。
4. 按下 **Analysis** 功能键，然后选择 **Power Quality** 测量。
5. 按下 **Signals** 功能键。
6. 确保 **Voltage** 设置为 **1** (通道1)，**Current** 设置为 **2** (通道2)。
7. 按照图 8 所示的连接图，使用示波器通道 1 输入端的 N2790A 高压差分有源探头连接线路 (红色引线) 与零线 (黑色引线)。如果使用 Agilent SMPS 培训套件，则将探头连接至 **TP2** (红色引线) 和 **TP1** (黑色引线)。
8. 使用 1147B 电流探头连接示波器通道 2 输入端与输入线路信号的电线环路。如果使用 Agilent SMPS 培训套件，则将电流探头按指示方向连接 **J1** 环路。
9. 按下 **AutoSetup** 功能键，然后选择 **Apply**。

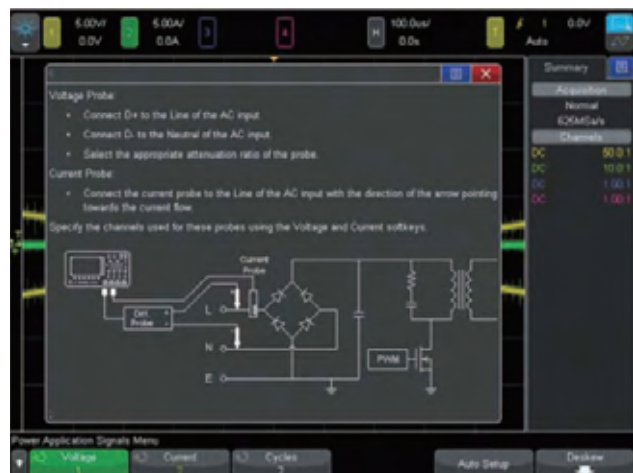


图8：功率质量测量的连接图。

按下 **AutoSetup** 后，示波器可提供最佳的电压波形 (黄色迹线) 和电流波形 (绿色迹线) 标度，启用波形运算功率波形 (紫色迹线)，并设置时基在屏幕上显示两个周期 (默认设置)。注意，如果电流波形 (绿色迹线) 相对于电压波形 (黄色迹线) 呈现异相，则生成负功率波形脉冲 (紫色迹线)，这时电流探头可能是反向连接的。

如图 9 所示，按下 **Apply** 后，4000 X 系列示波器将自动测量所有的功率质量参数，3000 X 系列示波器只测量功率因数、实际功率、视在功率以及无功功率。如欲测量电压波形和电流波形的波峰因数，请确保将 **Type** 设置为 **Crest**，然后按下 **Apply**。如欲测量电压波形和电流波形之间的相位，请按下 **Type** 功能键，选择 **Phase Angle**，然后再次按下 **Apply** 功能键。



图9：输入功率质量测量。

电流谐波分析

电流谐波分析测量回注到交流线路频率分量的幅度。设计者的最终电源产品必须符合指定的一致性标准，以免干扰其它连接至交流电网的设备。该测量将对电流波形执行FFT测量，针对用户选择的IEC标准比较奇次和偶次谐波的幅度结果，并提供多达40阶谐波所有已测试频率的颜色编码合格/不合格指示。

1. 如果使用Agilent SMPS培训套件，则设置**S2**负载开关至**ON**位置(高负载，最大电流)。
2. 按下前面板的[**Analyze**]键，然后选择**Features**功能键下的**Power Application**。
3. 按下**Analysis**功能键，然后选择**Current Harmonics**测量。
4. 按下**Signals**功能键。
5. 如图10所示的连接图，使用示波器通道1输入的N2790A电压探头连接线路(红色引线)与零线(黑色引线)，如果使用Agilent SMPS培训套件，则将探头连接至**TP2**(红色引线)和**TP1**(黑色引线)。
6. 使用1147B电流探头连接示波器通道2输入与输入线路信号的电线环路。如果使用Agilent SMPS培训套件，则按指示方向将电流探头连接至**J1**环路。
7. 确保**Voltage**设置为**1**(通道1)，**Current**设置为**2**(通道2)。
8. 按下**AutoSetup**。如果使用默认设置，示波器将显示20个周期的输入线路电压波形(黄色迹线)和电流波形(绿色迹线)。
9. 按下**Settings**功能键，然后按下**Line Freq**功能键，根据当地规定或您使用的工频频率，将频率设置为**50 Hz**、**60 Hz**或**400 Hz**。注意，您也可通过菜单选择适合的**IEC**标准以执行测试。
10. 按下[**Back**]功能键返回前一菜单，然后按下**Apply**功能键开始电流谐波测量。

如图11所示，按下**Apply**后，示波器将对电流波形执行FFT波形数学运算(紫色迹线)，并以表格形式在示波器显示屏的上半部分显示结果，示波器可测量多达40阶谐波，并根据选择的IEC标准比较测量结果。如欲查看更多的谐波测量结果，请按下**Scroll Harmonics**功能键并旋转旋钮。

11. 如欲以条形图格式查看结果，请按下**Settings**功能键，然后按下**Display**功能键，将**Table**设置更改为**Bar Chart**设置(如图12所示)。

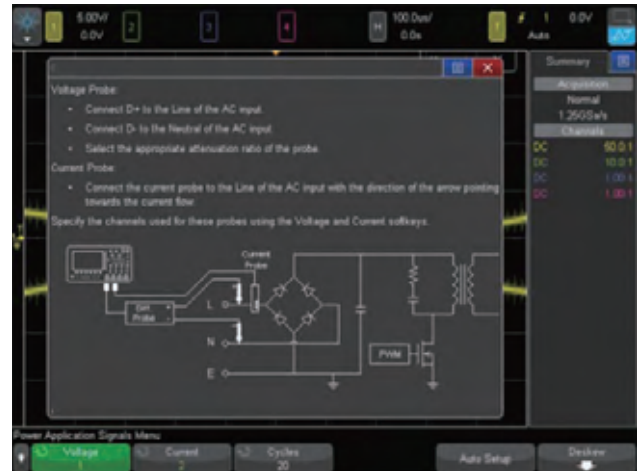


图10: 电流谐波测量的连接图。



图11: 以表格形式显示的电流谐波测量结果。



图12: 以条形图形式显示的电流谐波测量结果。

浪涌电流分析

浪涌电流分析将测量电源启动时的峰值输入电流(正或负)。由于该测量采集单次事件,不支持 **AutoSetup** (**AutoSetup** 适用于重复输入信号测量),因此,您必须输入峰值电流涌浪的“预计值”和稳态峰峰值线路电压,以便示波器建立最初的垂直标度。随后,您可以根据示波器的逐步指导执行单次测量。

1. 如果使用安捷伦开关电源测量培训套件,则设置 **S2** 负载开关至 **ON** 位置(高负载,最大电流)。
2. 按下前面板的 **[Analyze]** 键,然后选择 **Features** 功能键下的 **Power Application**。
3. 按下 **Analysis** 功能键,然后选择 **Inrush Current** 测量。
4. 按下 **Signals** 功能键,然后使用 N2790A 电压探头连接示波器通道1输入以及线路(红色引线)与零线(黑色引线),如图 13 所示的连接图。如果使用 Agilent SMPS 培训套件,则将探头连接至演示板上的 **TP2** (红色引线)和 **TP1** (黑色引线)。
5. 使用 1147B 电流探头连接示波器通道2输入与输入线路信号的电线环路。如果使用 Agilent SMPS 培训套件,按指示方向将电流探头连接至 **J1** 环路。
6. 确保 **Voltage** 设置为 **1**(通道1), **Current** 设置为 **2**(通道2)。
7. 设置被测器件的 **Max Vin** 和涌浪电流 **Expected** (预测)值。如果使用 Agilent SMPS 培训套件,您可以应用默认设置执行测量。

注意,默认涌浪电流 **Expected** (预测值)和 **Max Vin** 设置已针对 Agilent SMPS 培训套件进行了优化。虽然演示板的稳态峰值电流约为 1 A(**S2** 负载开关设置为 **ON**),但峰值浪涌电流要高的多,部分情况下可超过 ± 30 A。确定被测器件的“预期”峰值电流是一个迭代/尝试和犯错的过程。输入的预测值应高于待捕获和测量的实际峰值电流。

8. 在 **Signals** 菜单中确认或更改设置后,按下前面板的 **[Back]** 键(示波器左侧),返回前一菜单。
9. 按下 **Apply** 功能键,然后按照屏幕上的逐步指导进行操作,并重复数次。
10. 关闭电源,并按下 **Next**。

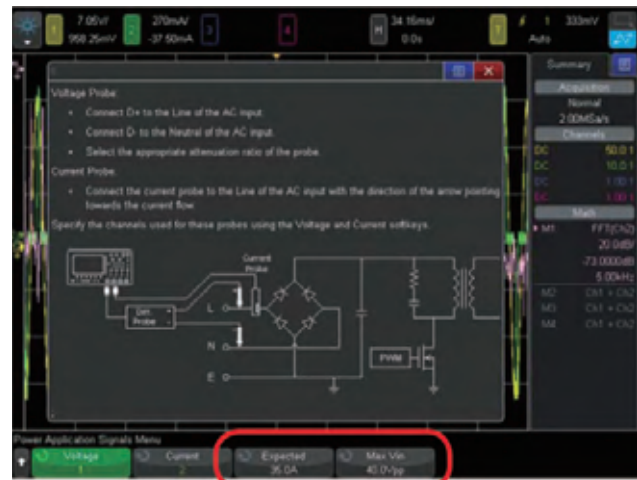


图 13: 设置“预期”浪涌电流和峰值线路电压,以进行单次浪涌电流测量。

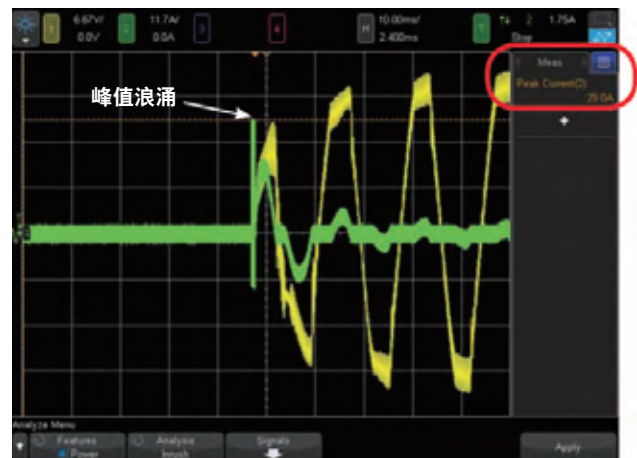


图 14: 浪涌电流测量。

11. 启动电源,并按下 **Next**。
12. 重复数次,以获得最极端条件下的峰值浪涌电流,如图 14 所示。

如果峰值电流显示“>”或“<”,表示电流波形已被“剪切”,您应当通过 **Signals** 菜单上调 **Expected** (预测)电流设置,以获得更精确的测量。如果电源开关打开的同时输入线路电压为绝对正峰值或绝对负峰值,通常会出现绝对峰值浪涌电流。这意味着您需要重复执行多次测量,以测量最恶劣条件下的浪涌电流。

开关损耗分析

开关损耗分析将测量开关设备(通常为FET)的功率和能量损耗。对于开关电源(SMPS)来说,大部分功率和能量损耗出现在晶体管开关相位,即晶体管打开和关闭期间。切换过程中,开关晶体管达到和退出饱和,并短暂地表现出线性特性。开关晶体管导电相位也会产生功率和能量损耗。此时,电压为晶体管最小饱和电压,并产生电流。非导电相位的损耗通常微不足道,理论上可视为零。开关损耗测量可以自动测量一个开关周期的损耗。您可以通过优化示波器的水平设置和垂直设置,以便在特定开关相位执行更精确的功率和能量损耗测量。

1. 如果使用 Agilent SMPS 培训套件, 设置 **S2** 负载开关至 **ON** 位置(高负载, 最大电流)。
2. 按下前面板的 **[Analyze]** 键, 然后选择 **Features** 功能键下的 **Power Application**。
3. 按下 **Analysis** 功能键, 然后选择 **Switching Loss** 测量。
4. 按下 **Signals** 功能键。
5. 如图 15 的连接图所示, 使用示波器通道 1 输入的 N2790A 高压差分探头连接漏极/集电极(红色引线)与开关晶体管的源极/发射极(黑色引线)。如果使用 Agilent SMPS 培训套件, 则将探头连接至 **TP3** (红色引线)和 **TP4** (黑色引线)。
6. 使用 1147B 电流探头连接示波器通道 2 输入与源极/发射机迹线的电线环路。如果使用 Agilent SMPS 培训套件, 按指示方向将电流探头连接至 **J2** 电流环路。注意, 将电流探头连接至电流环路之前应适宜对电流探头进行消磁。
7. 确保 **Signals** 菜单中 **Voltage** 设置为 **1** (通道 1), **Current** 设置为 **2** (通道 2)。
8. 按下 **AutoSetup** 功能键, 然后按下 **Apply**。

按下 **AutoSetup** 后, 示波器将建立最佳的电压波形(黄色迹线)和波形电流(绿色迹线)垂直标度, 设置主时基(显示屏上部)以显示两个开关周期, 以及设置缩放时基(显示屏下部)以显示一个开关周期。

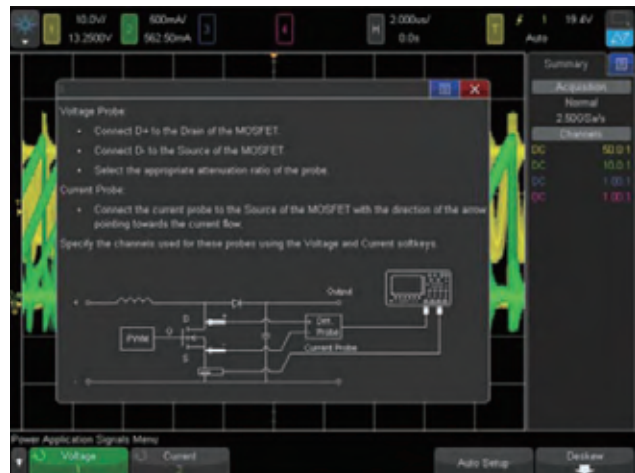


图 15: 将电压探头和电流探头与晶体管开关设备连接。



图 16: 一个开关周期的功率和能量损耗测量。

如图 16 所示, 按下 **Apply** 后, 示波器将启用数学运算功能, 以显示功率波形(紫色迹线), 并测量下列参数:

- 切换频率(计数器测量)
- 功率损耗(对缩放窗口中的功率求平均值)
- 功率损耗/周期(与最初设置的功率损耗相同)
- 能量损耗(集成功率损耗)

开关损耗分析

在导电相和非导电相情况下，示波器的动态范围和分辨率不足以根据电压波形和电流波形（功率 = 电压 × 电流）执行精确的功率和能量损耗测量。电压波形和电流波形的幅度接近零时，十分之一格的示波器和 / 或探头偏置误差（即使符合技术指标要求）也可能导致严重的测量误差。使用输入和指定的 $R_{ds(on)}$ 或 $V_{ce(sat)}$ 值计算导电相功率，示波器可以提供更精确的功率和能量损耗测量。然后，示波器将根据测得的导电相电流波形，使用输入常数的方法计算功率（ $P_{wr} = I^2 R_{ds(on)}$ 或 $I \times V_{ce(sat)}$ ）。这样，示波器可以计算并绘制功率波形。现在我们根据 $R_{ds(on)}$ 设置示波器进行一个开关周期的功率和能量损耗测量。

9. 按下 **Settings** 功能键。
10. 按下 **Conduction Waveform** 功能键，然后将 **Voltage Waveform** 设置更改为 **$R_{ds(on)}$** 设置。
11. 按下 **$R_{ds(on)}$** 功能键，然后输入适当的被测器件 $R_{ds(on)}$ 值。如果使用 Agilent SMPS 培训套件，则输入 **200 mΩ**。

假设输入的 R_{ds} 与被测器件匹配，示波器显示应与图 17 类似，并且显示屏右侧显示的功率和能量损耗结果更加精确。与图 16 的测量进行对比：即比较使用 R_{ds} 输入值与完全使用数字化电压波形和电流波形的功率和能量损耗测量结果。

选择根据 **$R_{ds(on)}$** 或 **$V_{ce(sat)}$** 进行功率和能量损耗测量后，示波器将使用 **V Ref**（电压参考）和 **I Ref**（电流参考）设置（在 **Settings** 菜单中设置）来确定计算每个开关相位功率波形的适合方法。



图 17: 根据 $R_{ds(on)}$ 输入值测量一个开关周期的功率和能量损耗。

当电压波形（黄色迹线）高于 **V Ref** 设置（默认 = 5%）时，示波器将根据电压波形和电流波形的乘积（ $V \times I$ ）计算功率波形。该情况通常只在晶体管启动和关闭相位出现。注意，您可能在接近屏幕中央的位置（关闭）看到一个大的功率尖峰，并在电压降到接近零伏时看到与电压波形一致的较小的功率尖峰（启动）。只有在这些相对较短的波形相位，示波器才根据瞬时电压波形和电流波形的乘积计算功率。

电压波形低于 **V Ref** 设置时，示波器将根据 $I^2 R_{ds(on)}$ 或 $I \times V_{ce(sat)}$ 计算功率波形，以提供更精确的导电相损耗测量。接下来我们将放大该部分波形。

如果电流波形低于 **I Ref** 设置（默认 = 5%），示波器根据 $V \times 0 \text{ Amps}$ 计算功率波形，即结果始终为零瓦。示波器通常在切换波形非导电相内电流降至零（理论上）时使用此计算方法。

开关损耗分析

全面表征和优化开关电源的效能通常需要工程师分别测量每个开关相位的功率和能量损耗。通过分别测量每个开关相位并求和，以确定一个周期的总损耗，也可以提高一个开关周期的开关损耗测量精度。实现上述目标需要您查看各个相位，同时手动优化示波器的垂直和水平设置。现在我们执行更精确的晶体管关闭(有时称为TOFF相位)功率和能量损耗测量。使用示波器的当前设置，晶体管关闭会出现在屏幕中央，即图17所示的功率波形(紫色迹线)尖峰。

12. 减小缩放时基设置(较大的水平旋钮)，放大接近屏幕中央的功率波形尖峰。
13. 调整水平时延/位置设置(较小的水平旋钮)，将功率尖峰调整至下方缩放显示的中央位置，如图18所示。

“调谐”缩放时基和时延设置以便只显示关闭功率尖峰，这是一个迭代的过程。

功率损耗(Power Loss)测量是短/放大时间间隔内的平均功率测量，该测量部分情况下可能意义并不太大。能量损耗(Energy Loss)是放大显示期间功率损耗集成，具有重要意义。功率损耗/周期(Power Loss/Cycle)是相对于一个完整开关周期的部分功率损耗。

注意，部分开关电源在晶体管启动相(电压下降，电流开始形成)也会出现损耗。在这种情况下，您可以在主/上时基显示中看到两个功率尖峰。若使用Agilent SMPS培训套件作为被测器件，启动相的功率和能量损耗相对较低，如图18所示，主时基视图较低幅度的功率尖峰。如果您看到第二个较大的功率波形尖峰，您也当放大显示可能出现在启动相位的该尖峰，以测量该相位的损耗。

现在我们测量导电相(电压/黄色波形位于/接近最小电压时)的功率和能量损耗。导电相测量以Rds(on)输入值为基础。

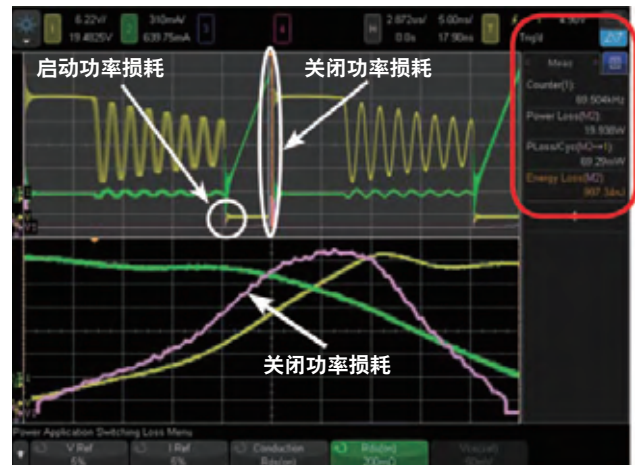


图18: 查看屏幕中央的功率尖峰，以测量晶体管关闭相的功率和能量损耗。

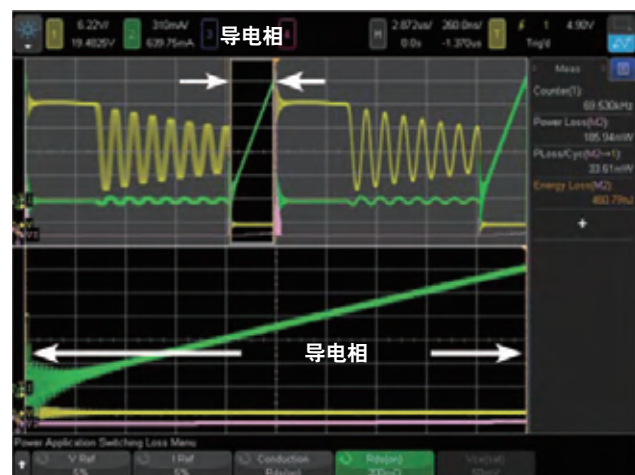


图19: 调整缩放时基以便只显示导电相。

14. 如果使用Agilent SMPS培训套件，将缩放时基设置为约300 ns/格。注意，按下时基旋钮(较大的水平旋钮)可以在粗泛调整和精细调整之间切换。
15. 调整水平时延/位置设置(较小的水平旋钮)，以显示电压波形(黄色迹线)较低时的波形区域。
16. 使用“精细调整”(按下水平时基旋钮可以在精细调整和粗泛调整之间切换)重新调整缩放时基设置，调整所有功率波形尖峰(紫色迹线)至缩放/下部显示区域的左侧和右侧，即不再显示尖峰。

开关损耗分析

注意，您可能需要重新调整水平时延/位置设置。调整秒/格和时延以获得最佳的缩放窗口设置是一个重复的过程。所有功率和能量损耗测量都只在缩放显示中“选通”并执行测量。适当地设置缩放时基(秒/格和水平时延/位置)以便仅显示导电相之后，您应当在缩放/下部显示区域底部看到一条近似于直线的功率波形(紫色迹线)，如图19所示。要对该波形执行精确的功率和能量损耗测量，我们需要垂直放大功率波形(紫色迹线)。但请勿尝试垂直放大电压波形(黄色迹线)以改善分辨率和精度。垂直放大电压波形将驱动示波器垂直放大器趋于饱和，造成过度驱动恢复，进而导致波形失真。

1. 按下波形运算垂直位置旋钮，将功率波形(紫色迹线)置于屏幕中央。波形运算垂直位置旋钮位于示波器前面板右侧[Math]键下方。
2. 顺时针旋转波形运算垂直标度旋钮([Math]键上方)，以垂直放大功率波形(紫色迹线)。
3. 重新调整波形运算垂直位置旋钮，再次将功率波形(紫色迹线)调整至屏幕中央，确保波形上部和底部均可完整显示，如图20所示。注意，您需要反复调整波形运算垂直位置旋钮和标度旋钮，以获得最佳的标度，并确保缩放/下部显示区域能够完整显示功率波形。

上部/主时基显示中顶部部分功率波形可能无法显示，但波形没有过度激励。原因在于功率波形是一个根据电流波形(绿色迹线)和输入Rds(on)值计算得出的波形，不应削波或过度激励。此外，功率损耗/周期和能量损耗测量仅使用缩放/下部显示区域的计算数据。此

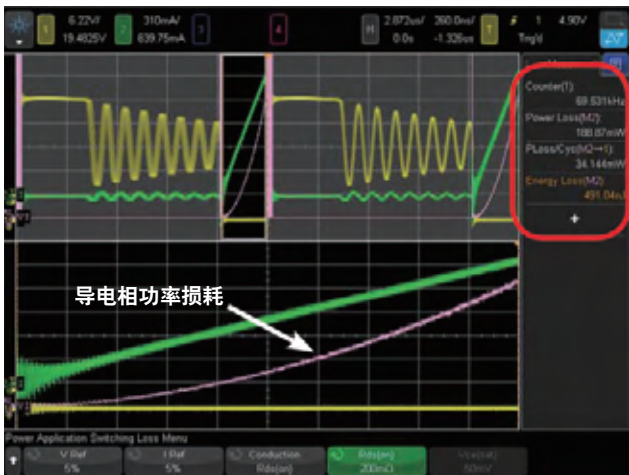


图20: 查看导电相的功率波形。

例中，Agilent SMPS 培训套件测量得到的导电相功率损耗/周期约为35mW，能量损耗约为500nJ。参考图18的关闭相损耗测量，我们测得功率损耗/周期约为65mW，能量损耗约为930nJ。一个开关周期的总损耗是关闭相、启动相(测量值，但未显示)和导电相测得功率损耗/周期和能量损耗的总和。测量值如下表所示：

相位	功率损耗/周期	能量损耗
启动	2.6mW	38nJ
关闭	69mW	997nJ
导电相	34mW	491nJ
非导电相	0mW	0nJ
总损耗	106mW	1.53μJ

现在，与示波器测得的完整开关周期总损耗对比功率损耗/周期和能量损耗总和，以及更精确的测量值(图17)。

斜率分析

斜率分析将测量电源开关晶体管启动和关闭时电压波形和 / 或电流波形的改变率。

1. 如果使用 Agilent SMPS 培训套件, 设置 **S2** 负载开关至 **ON** 位置 (高负载, 最大电流)。
2. 按下前面板的 **[Analyze]** 键, 然后选择 **Features** 功能键下的 **Power Application**。
3. 按下 **Analysis** 功能键, 然后选择 **Slew Rate** 测量。
4. 按下 **Signals** 功能键, 然后使用示波器通道 1 输入的 N2790A 电压探头连接漏极 / 集电极 (红色引线) 与开关晶体管的源极 / 发射机 (黑色引线), 如图 21 连接图所示。如果使用 Agilent SMPS 培训套件, 将探头连接至 **TP3** (红色引线) 和 **TP4** (黑色引线)。
5. 将 1147B 电流探头连接至源极 / 发射机迹线的电线环路。如果使用 Agilent SMPS 培训套件, 按指示方向将电流探头连接至 **J2** 电流环路。
6. 确保 **Voltage** 设置为 **1** (通道 1), **Current** 设置为 **2** (通道 2)。
7. 按下 **AutoSetup** 功能键, 然后按下 **Apply**。

现在, 示波器显示应与图 22 类似。**AutoSetup** 将优化电压波形和电流波形的标度, 设置主时基 (上部显示) 以显示一个开关周期, 并设置缩放时基 (下部显示) 以显示关闭相电压波形和电流波形。

按下 **Apply** 后, 示波器将根据电压波形启用差分 (dv/dt) 数学运算 (紫色迹线), 以便动态地绘制电压波形斜率。按下 **Apply** 后, 示波器将同时启动 **Max** 和 **Min** 测量, 以自动测量波形的最大和最小斜率。

如欲测量电流波形的最大和最小斜率, 请按下 **Source** 功能键并将源极设置由 **Voltage** 更改为 **Current**。

要测量晶体管启动相的电压波形和电流波形斜率, 您需要调整水平时延 / 位置旋钮, 直到缩放时基能够显示启动相 (此时, 电压降至接近零), 如图 23 所示。注意, 为获得稳定的晶体管启动相显示, 您可以保留时延设置为零, 但之后您需要将触发边沿由上升改为下降。这样可以在晶体管启动相建立更稳定的触发, 并确保缩放显示位于屏幕中央。

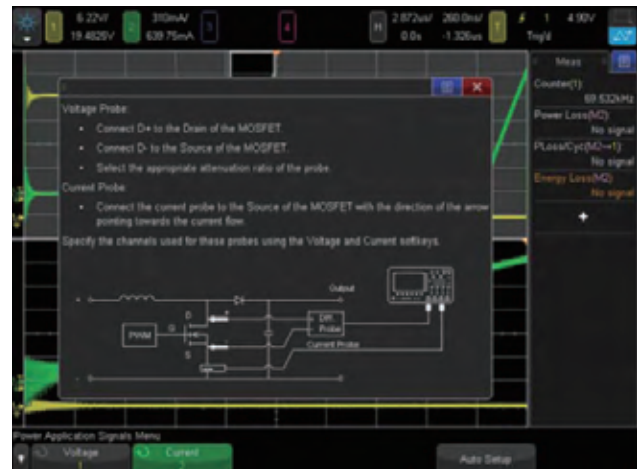


图 21: 斜率测量连接图。

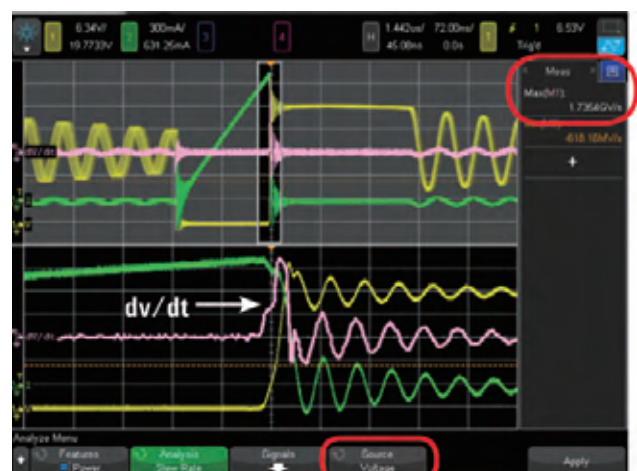


图 22: 晶体管关闭相的电压波形斜率测量。



图 23: 晶体管启动相的电流波形斜率测量。

调制分析

调制分析通常用于表征从直流输出到开关晶体管选通脉宽调制(PWM)的反馈, 以实现动态的电压调节。但是, 该测量无法使用 Agilent SMPS 培训套件进行演示, 因为 FET 选通端接无法进行探测。

1. 按下前面板的 **[Analyze]** 键, 然后选择 **Features** 功能键下的 **Power Application**。
2. 按下 **Analysis** 功能键, 然后选择 **Modulation** 测量。
3. 按下 **Signals** 功能键。
4. 使用示波器通道 1 输入的 N2790A 电压探头连接选通 / 时基 (红色引线) 与开关晶体管的源极 / 发射机 (黑色引线), 如图 24 连接图所示。注意, 连接图显示电流探头与漏极连接, 但此测量中该连接是不必要的。
5. 确保 **Voltage** 设置为 **1** (通道 1)。
6. 按下 **AutoSetup** 功能键, 然后按下 **Apply**。

按下 **AutoSetup** 后, 示波器将优化电压波形 (选通至源信号) 标度, 并根据用户定义的 **Duration** (持续时间) 设置来设定时基。

如图 25 所示, 按下 **Apply** 后, 示波器将针对屏幕显示的选通至源信号 (黄色迹线) 连续 **Duty Cycle** (占空比) 测量启动 **Measurement Trend** (测量趋势) 波形数学运算 (紫色迹线)。在此图中, 垂直轴表示占空比, 水平轴表示时间。

在本例中, 我们重新设置时基为 $200\mu\text{s}/\text{格}$ (2ms 持续时间), 以获得最佳的选通信号占空比调制视图。该开关器件的选通信号占空比似乎正在以 1kHz 的速率进行调制, 测得的最大占空比约为 15% , 最小约为 13% 。

Modulation (调制) 测量也十分适用于表征开关电源的启动特性。图 26 是一个通电时的开关晶体管选通信号频率单次测量实例。在本例中, 我们将测量类型由 **Duty Cycle** (占空比) 更改为 **Frequency** (频率), 并手动设置示波器以执行单次采集。本例中我们可以看到选通至源信号的幅度 (黄色迹线) 在约 1.8ms 内达到稳态状态。 **Measurement Trend** (测量趋势) 波形 (紫色迹线) 以屏幕上显示的选通信号连续频率测量为基础, 显示晶体管在 $600\mu\text{s}$ 内快速达到 69kHz 的稳态切换频率。

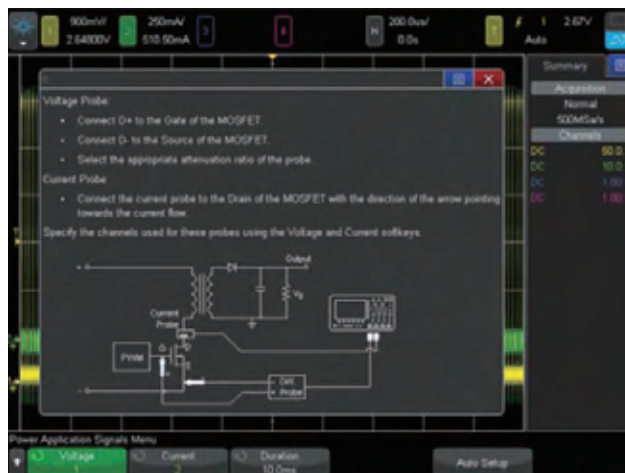


图 24: 调制测量连接图。



图 25: 开关晶体管选通输入的占空比调制测量。

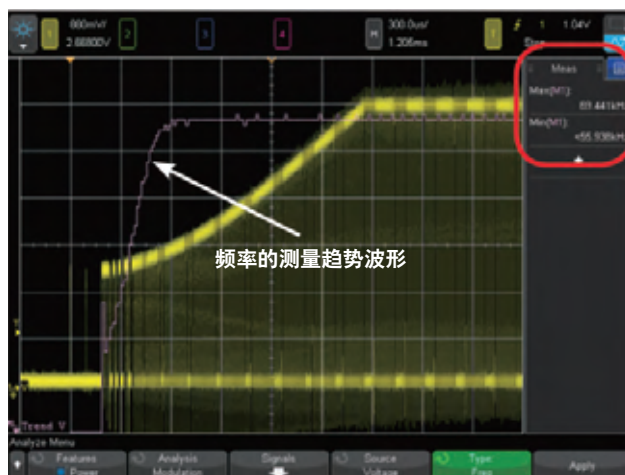


图 26: 在通电启动时对开关晶体管选通输入执行频率调制测量。

输出纹波分析

输出纹波分析将测量电源输出直流信号的极限峰峰值，以及输出直流信号的AC-RMS。AC-RMS测量与标准偏差(σ)测量类似，后者常用于随机噪声表征。输出纹波通常源自开关噪声，以及系统中的其它随机噪声和信号源的信号耦合。该测量通常测量电源的电压调节和滤波质量，以抑制切换与其它噪声/干扰源。

1. 如果使用 Agilent SMPS 培训套件，设置 **S2** 负载开关至 **ON** 位置 (高负载，最大电流)。
2. 按下前面板的 **[Analyze]** 键，然后选择 **Features** 功能键下的 **Power Application**。
3. 按下 **Analysis** 功能键，然后选择 **Output Ripple** 测量。
4. 按下 **Signals** 功能键。
5. 使用标配的 10:1 无源电压探头 (示波器通道 3 输入端) 连接直流输出信号与接地，如图 27 所示。如果使用 Agilent SMPS 培训套件，将通道 3 的 10:1 无源探头连接至 **TP5** (探针抓取器) 和 **TP6** (接地)。
6. 按下 **Voltage** 功能键，然后将设置更改为 **3** (测得信号源为通道 3)。
7. 按下 **AutoSetup** 功能键，然后按下 **Apply**。

现在，示波器显示应与图 28 类似。按下 **AutoSetup** 后，示波器将在选定通道上与输入信号交流耦合，以消除直流分量，然后优化选定输入通道的垂直设置，以便仅显示直流输出信号的输出纹波。

按下 **Apply** 后，示波器将测量直流输出信号的输出纹波 (峰峰值电压和 C-RMS (σ))。

注意，具有良好调节能力的电源产生极少的输出纹波。该测量可能需要 Agilent N2870A 或 100070D 等 1:1 无源探头。

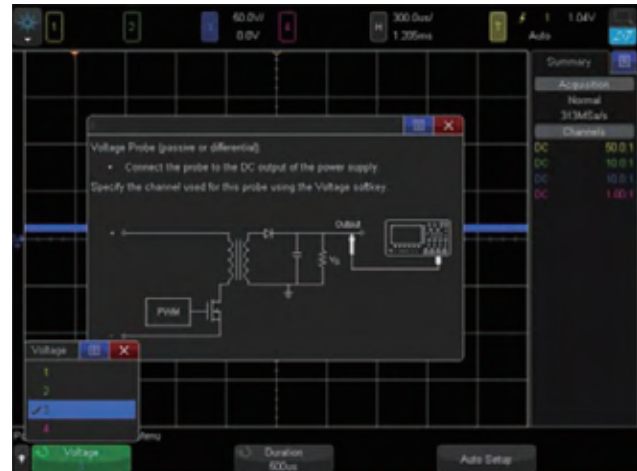


图 27: 输出纹波测量连接图。



图 28: 直流输出信号的输出纹波测量。

启动 / 关闭分析

启动分析测量从最初打开电源到直流输出达到理想稳态 90% 期间的时间。关闭分析测量从关闭电源到直流输出衰减到稳态 10% 期间的时间。

1. 如果使用 Agilent SMPS 培训套件, 则设置 **S2** 负载开关至 **ON** 位置 (高负载, 最大电流)。
2. 按下前面板上的 **[Analyze]** 键, 然后选择 **Features** 功能键上的 **Power Application**。
3. 按下 **Analysis** 功能键, 然后选择 **Turn On/Turn Off** 测量。
4. 按下 **Signals** 功能键。
5. 连接示波器通道 1 的线路 (红色引线) 输入和零线 (黑色引线) 间的 N2790A 差分有源探头, 如图 29 所示的连接图。如果使用安捷伦开关电源测量培训套件, 则将探头连接至 **TP2** (红色引线) 和 **TP1** (黑色引线)。
6. 使用标配的 10:1 无源电压探头连接示波器通道 3 输入与被测器件的直流输出。如果使用 Agilent SMPS 培训套件, 将探头连接至 **TP5** (探针抓取器) 和 **TP6** (接地)。
7. 按下 **Input V** 功能键, 然后设置为 **1** (通道 1)。
8. 按下 **Output V** 功能键, 然后设置为 **3** (通道 3)。

注意, 默认 **Duration**、**Max Vin** 和 **Steady Vout** 设置已针对 Agilent SMPS 培训套件进行了优化。如果测试不同的电源, 请输入适合的 **Max Vin** (峰峰值) 和 **Steady Vout** 值。同样, 您可以保留默认的 **500 ms Duration** 设置进行测试, 该设置将决定测量的示波器时基设置。

9. 按下前面板的 **[Back]** 键返回前一菜单。
10. 按下 **Apply** 功能键开始测试, 然后按照屏幕上的逐步说明操作。测试需要重复数次。
11. 关闭电源, 并按下 **Next**。
12. 启动电源, 并按下 **Next**。

如果被测器件启动时间少于 400 ms, 示波器显示应与图 30 类似。如果初始 **Duration** 设置太低, 示波器将无法进行测量。在这种情况下, 您应按照屏幕显示的信息上调 **Duration** 时间设置, 然后再次执行测量。或者, 您可以调低持续时间设置, 以改善测量的定时分辨率。在确定最佳的持续时间设置后, 重复执行多次测试, 来确定最快和最慢的启动时间。图 31 是使用 **50 ms** 持续时间设置的相同测试。



图 29: Signals 菜单中的启动 / 关闭连接图。

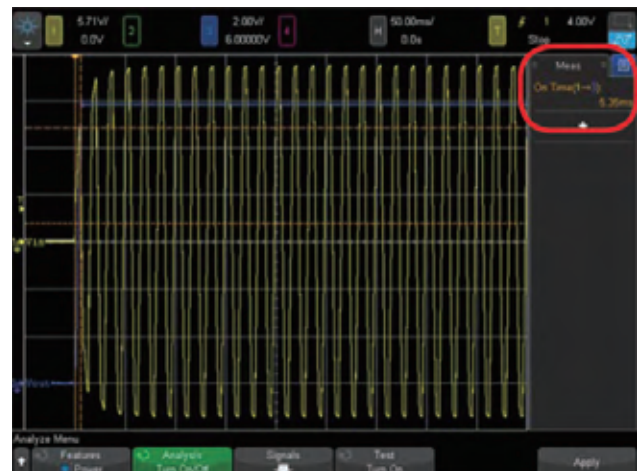


图 30: 使用默认 500 ms 持续时间设置的启动测试。

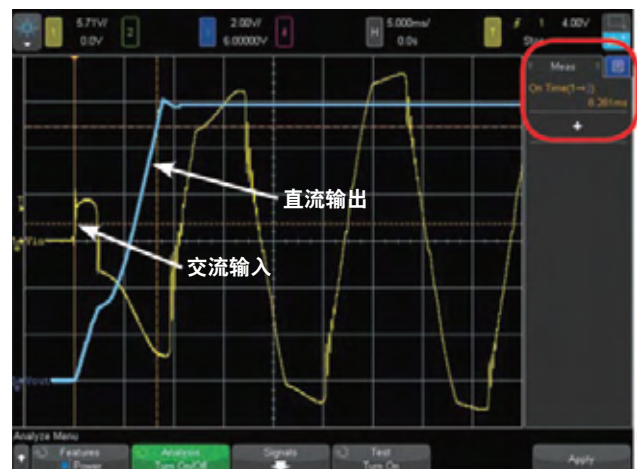


图 31: 使用 50 ms 的持续时间设置执行启动测试, 以提高测量分辨率和精度。

启动 / 关闭分析

现在我们执行关闭时间测量。

13. 继续此前的 **Turn On** 时间测量，按下 **Test** 功能键，然后将 **Turn On** 改为 **Turn Off**。
14. 按下 **Signals** 功能键，注意 **Duration**、**Max Vin** 和 **Steady V_{out}** 的默认设置。上述设置已针对本演示步骤使用的 Agilent SMPS 培训套件进行了优化。如果测试不同的电源，则应根据此前的 **Turn On** 测试设置 **Max V_{in}** 和 **Steady V_{out}**。默认的 1.00 秒 **Duration** 时间设置可能不适合您的电源。
15. 按下前面板的 **[Back]** 键返回前一菜单，然后按下 **Apply** 功能键并按照屏幕上的逐步说明操作。重复执行测试数次。
16. 启动电源，并按下 **Next**。
17. 关闭电源，并按下 **Next**。

现在，示波器显示应与图 32 类似。重复执行多次测量以确定最短和最长的关闭时间。注意，您可能需要调整测试的 **Duration** 时间设置。

如果使用 Agilent SMPS 培训套件进行测量，将 **S2** 开关设置为 **OFF** 位置 (低负载，最小电流)，然后重复执行 **Turn Off** 时间测量。您可能需要将持续时间设置上调至 2.0 秒，并将 **S2** 负载开关设置为 **OFF**。在输出负载降低情况下，输出的衰减在电源关闭时将减慢。

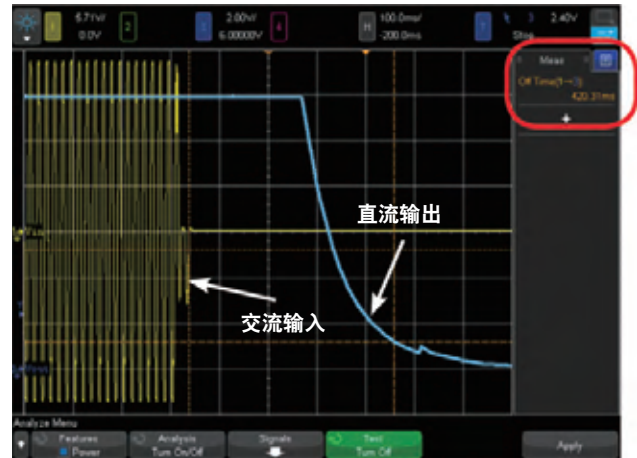


图 32: 关闭时间测试。

瞬时响应分析

瞬时响应分析将测量输出直流电压的稳定时间，即输出负载突然变化（输出电流增大或减小）之后，稳定至用户设置的预计输出电平百分比范围的时间。在设置测量之前，您必须首先确定不同负载条件下的预期输出电流。

1. 如果使用 Agilent SMPS 培训套件，设置 **S2** 负载开关至 **OFF** 位置（低负载，最小电流）。
2. 按下前面板的 **[Analyze]** 键，然后选择 **Features** 功能键下的 **Power Application**。
3. 按下 **Analysis** 功能键，然后选择 **Transient Response** 测量。
4. 按下 **Signals** 功能键。
5. 使用示波器通道 2 输入的 1147B 电流探头连接被测器件的输出电流信号，如图 33 的连接图所示。如果使用 Agilent SMPS 培训套件，按演示板指示方向将探头连接至演示板 **J3** 电流环路。注意，电流探头上显示电流方向的箭头应朝下，面向工作台。
6. 使用标配的 10:1 无源电压探头连接示波器通道 3 输入与输出直流电压信号。如果使用安捷伦功率演示电路板，将探头连接至 **TP5**（探针抓取器）和 **TP6**（接地）。
7. 按下 **Voltage** 功能键，然后选择 **3**（通道 3）。
8. 按下 **Current** 功能键，然后选择 **2**（通道 2）。
9. 设置被测器件的 **Steady V_{out}** 。如果使用 Agilent SMPS 培训套件，可使用 12.0 V 的默认电平设置。
10. 按下前面板的 **[Back]** 键返回前一菜单。
11. 按下 **Settings** 功能键，然后设置 **Initial I** 为接近低负载输出电流电平（假设 **S2** 负载开关处于 **OFF** 位置（低负载 / 小电流））。同时设置 **New I** 为接近高负载输出电流电平。如果使用 Agilent SMPS 培训套件，您可以分别使用 **60 mA** 和 **215 mA** 的默认设置。
12. 按下前面板的 **[Back]** 键返回前一菜单。
13. 按下 **Apply** 功能键，然后按照屏幕上的说明逐步操作。重复执行数次。
14. 增加输出负载（大电流）。如果使用 Agilent SMPS 培训套件，移动 **S2** 负载开关至 **ON** 位置（远离 J3 电流环路）。
15. 按下 **Next**。

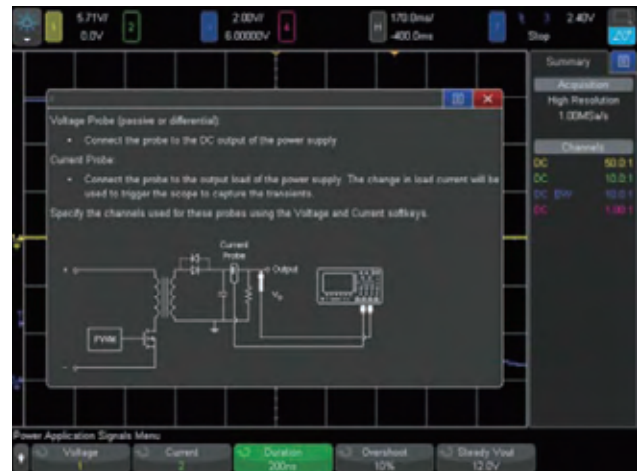


图 33: Signals 菜单中的瞬时响应连接图。

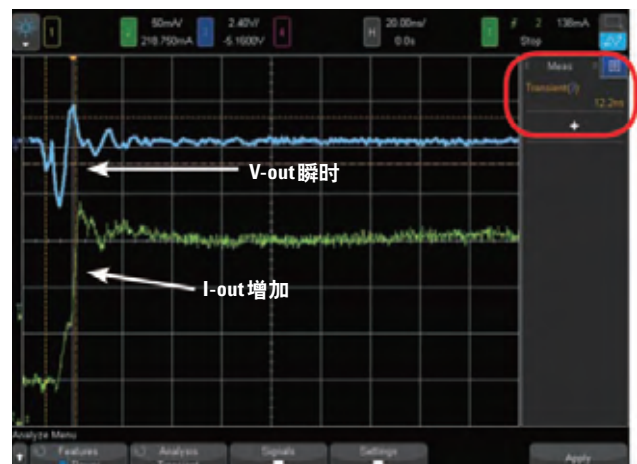


图 34: 输出负载增加（输出电流突然增大）后的瞬时响应稳定时间测量。

现在，示波器显示应与图 34 类似。通道 2 电流探头测得的输出电流（绿色迹线）突然增大，同时输出电压（蓝色迹线）下降，随后在大约 12 ns 内稳定至预期输出电压电平 10% 范围内。

瞬时响应分析

接下来我们测量输出负载降低 (小输出电流) 时的瞬时响应稳定时间。

16. 如果使用 Agilent SMPS 培训套件, 请确保 **S2** 负载开关处于 **ON** 位置 (离开 **J3** 电流环路)。这样, 培训套件将处于初始高负载 (大输出电流) 条件下。
17. 按下 **Settings** 功能键。如果使用 Agilent SMPS 培训套件, 设置 **Initial I** 为约 **200 mA**, **New I** 为约 **60 mA**。如果对自有的电源进行瞬时响应测量, 您需要设置适当的值。
18. 按下前面板的 [**Back**] 键返回前一菜单。
19. 按下 **Apply** 功能键, 然后按照屏幕上的说明逐步操作。重复执行数次测试。
20. 输出负载下降 (小电流)。如果使用 Agilent SMPS 培训套件, 移动 **S2** 负载开关至 **OFF** 位置 (朝向 **J3** 电流环路)。
21. 按下 **Next**。

现在, 示波器显示应与图 35 类似。当输出电流 (绿色迹线) 突然减小时, 输出电压 (蓝色迹线) 会立即升高, 随后在大约 21 ns 时间内稳定在预计输出电压电平 10% 范围内。

注意, 测量负载增加和降低条件下的瞬时响应稳定时间需要重复数次, 以表征最长和最稳定的稳定时间。

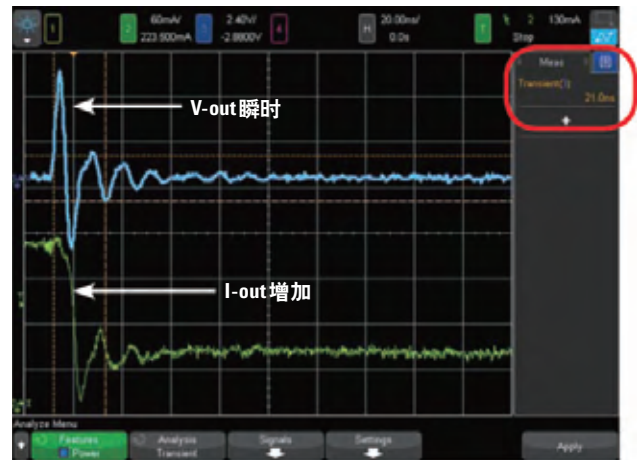


图 35: 输出负载下降 (输出电流突然降低) 时的瞬时响应稳定时间测量。

PSRR 分析

电源抑制比 (PSRR) 分析有时也称为电源纹波抑制, 将测量电压调节器抑制不同扫描频率上耦合的能力。通常, 我们使用网络分析仪针对低压降 (LDO) 稳压器进行分析。虽然用于测量的示波器动态范围仅为 50 dB, 但您可以使用 Agilent InfiniiVision 3000/4000 X 系列示波器的内置波发生器自动执行测量。

要执行这一测量, 您必须通过对网络连接示波器的 WaveGen 输出 (在 4000 X 系列仅 Gen 输出 1) 与 LDO 的直流输入的求和来进行。如果直接连接 WaveGen 输出和 LDO 输入, 被测器件的输入直流源将作为示波器 WaveGen 的低阻抗负载, WaveGen 的 $50\ \Omega$ 源阻抗将对被测器件输入直流源造成过度负载。如果没有网络分析求和网络, 您可以构建一个由电感器和电容器组成的简单求和网络: 电感器与输入直流源串联, 电容器与 WaveGen 输出串联。但你必须考虑元件相对于频带的电抗, 电抗必须进行测试。

按照 $20\text{Log}(V_i/V_o)$ 绘制 PSRR 随频率变化的对数图, 即标准波特图的倒数。标配 10:1 无源电压探头通常用于 V-in 测量, 但由于示波器的动态范围有限, 我们推荐使用 Agilent N2870A 或 10070D 等 1:1 无源电压探头测量 V-out。

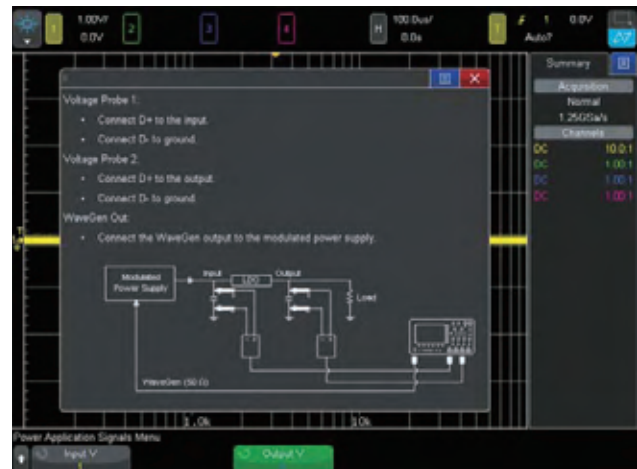


图 36: Signals 菜单中的 PSRR 连接图。

注意, 该测量无法使用 Agilent SMPS 培训套件进行演示。

1. 按下前面板的 [Analyze] 键, 然后选择 **Features** 功能键下的 **Power Application**。
2. 按下 **Analysis** 功能键, 然后选择 **Power Supply Rejection Ratio (PRSSR)** 测量。
3. 按下 **Signals** 功能键。
4. 通过求和网络, 连接 WaveGen 输出 (使用 Agilent 4000 X 系列示波器时仅连接 Gen 输出 1) 和被测器件的直流输入源, 如图 36 的连接图所示。
5. 连接示波器通道 1 的输入与被测器件的直流输入之间标配的 10:1 无源电压探头。
6. 使用标配的 1:1 无源电压探头连接示波器通道 3 输入与被测器件的直流输出。
7. 确保 **Input V** 设置为 **1** (通道 1), **Output V** 设置为 **3** (通道 3)。
8. 按下前面板的 [Back] 键返回前一菜单。
9. 按下 **Settings** 功能键。
10. 设置预期的测试 **Maximum** (最大) 和 **Minimum** (最小) 频率。
11. 设置用于绘制测量结果图的 **Max Ratio** (最大比例)。
12. 设置将叠加到被测器件输入的正弦波输出 **Amplitude** (幅度)。典型设置为 500 mVpp 至 1.0 Vpp。
13. 按下前面板的 [Back] 键返回前一菜单。
14. 按下 **Apply** 功能键开始测量。

PSRR 分析

图 37 显示的是完成扫描测试后的 PSRR 测量。在本例中，我们使用 1.0 Vpp 输入正弦波，在 100 Hz 至 20 MHz 范围展开测试。黄色和蓝色正弦波表示最后测试频率 (20 MHz) 时生成的输入和输出波形。紫色迹线表示以 dB 为单位绘制的 PSRR 图。测量结束后，您可以使用示波器的跟踪游标测量不同频率的抑制数值。在本测试中，我们测得频率较低时的抑制约为 50 dB，最大频率 (20 MHz) 时约为 8.4 dB。

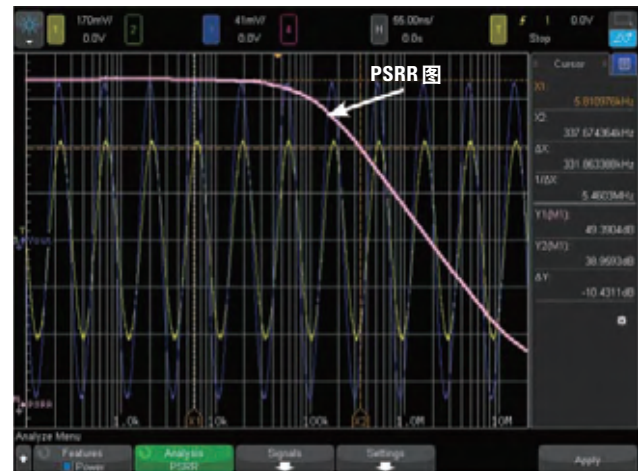


图 37: 使用示波器内置波形发生器作为自动扫描源的电源抑制比 (PSRR) 测量。

效能分析

效能分析将测量实际输入功率和输出功率，以计算电源的效能(效能 = 功率(输出)/功率(输入) × 100)。该测量需要三个有源探头(高压差分有源探头和两个有源电流探头)。如果没有两个电流探头，您可以通过两个步骤执行测量：测量输入功率，测量输出功率，然后计算效能。我们首先介绍具有两个电流探头的一步测量法。

1. 如果使用 Agilent SMPS 培训套件，设置 **S2** 负载开关至 **ON** 位置(高负载，最大电流)。
2. 按下前面板的 **[Analyze]** 键，然后选择 **Features** 功能键下的 **Power Application**。
3. 按下 **Analysis** 功能键，然后选择 **Efficiency** 测量。
4. 按下 **Signals** 功能键，然后滚动到连接图底部。
5. 使用示波器通道 1 输入的 N2790A 高压差分有源探头连接线路(红色引线)和零线(黑色引线)，如图 38 的连接图所示。如果使用 Agilent SMPS 培训套件，将探头连接至 **TP2**(红色引线)和 **TP1**(黑色引线)。
6. 使用 1147B 电流探头连接示波器通道 2 输入与输入线路电流环路。如果使用 Agilent SMPS 培训套件，按指示方向将探头连接至 **J1** 电流环路。
7. 使用标配 10:1 无源电压探头连接示波器通道 3 输入与直流输出信号。如果使用安捷伦功率演示板，则将探头连接至 **TP5**(探针抓取器)和 **TP6**(接地)。
8. 如果使用 Agilent 4000 X 系列示波器，使用另一个 1147B 电流探头连接示波器通道 4 输入与输出直流电流环路。如果使用 Agilent SMPS 培训套件，按指示方向将探头连接至 **J1** 电流环路。如果使用 Agilent 3000 X 系列示波器，您必须使用可连接至外部供电的第二个电流探头，因为示波器只能为两个有源探头供电。
9. 按下 **Input V** 功能键，然后设置为 **1**(通道 1)。
10. 按下 **Input I** 功能键，然后设置为 **2**(通道 2)。
11. 按下 **Output V** 功能键，然后设置为 **3**(通道 3)。
12. 按下 **Output I** 功能键，然后设置为 **4**(通道 4)。
13. 按下 **AutoSetup** 功能键，然后按下 **Apply**。

现在，示波器显示应与图 39 类似。在本例中，测得的 Agilent SMPS 培训套件电源效能仅为 76%。

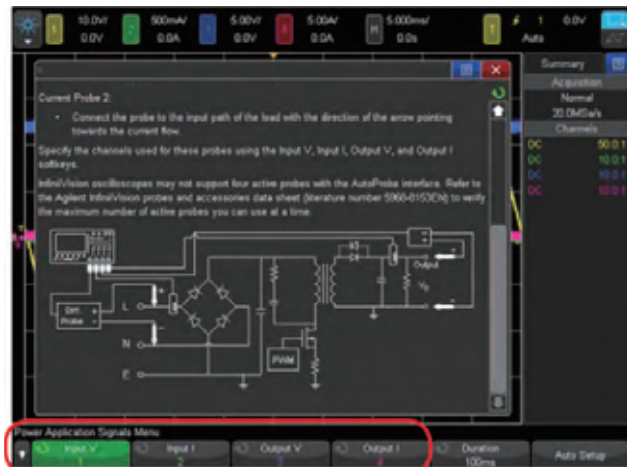


图 38: Signals 菜单中的效能测量连接图。



图 39: 电源效能测量结果。

效能分析

如果无法使用两个电流探头进行测量，您可以按照上述步骤利用连接通道2和输入电流环路的电流探头测量输入功率。示波器通道4输入无需任何连接。执行上述步骤后，记录 **Input Power** (输入功率) 结果，可忽略 **Output Power** (输出功率) 和 **Efficiency** (效能) 测量。

接下来，断开与示波器通道2输入的连接，将电流探头连接至通道4，然后将探头连接输出直流电流环路 (如果使用 Agilent SMPS 培训套件，将电流探头连接至 **J3**)。手动复位并重新设置通道3 (V 输出) 和通道4 标度，直到可以在屏幕上看到两个直流迹线。现在记录 **Output Power** (输出功率) 结果。效能 = 输出功率 / 输入功率 × 100%。

相关文献

出版物标题	出版物类型	出版号
InfiniiVision 4000 X 系列示波器	技术资料	5991-1103EN
InfiniiVision 3000 X 系列示波器	技术资料	5990-6619EN
DSOX3PWR/DSPX4PWR 开关电源测量选件	技术资料	5990-8869EN
InfiniiVision 示波器探头和附件	技术资料	5968-8153EN
N2790A 100-MHz、N2791A 25-MHz、N2891A 70-MHz 差分有源探头	技术资料	5990-3780EN
N2870A 系列无源探头和附件	技术资料	5990-3930EN

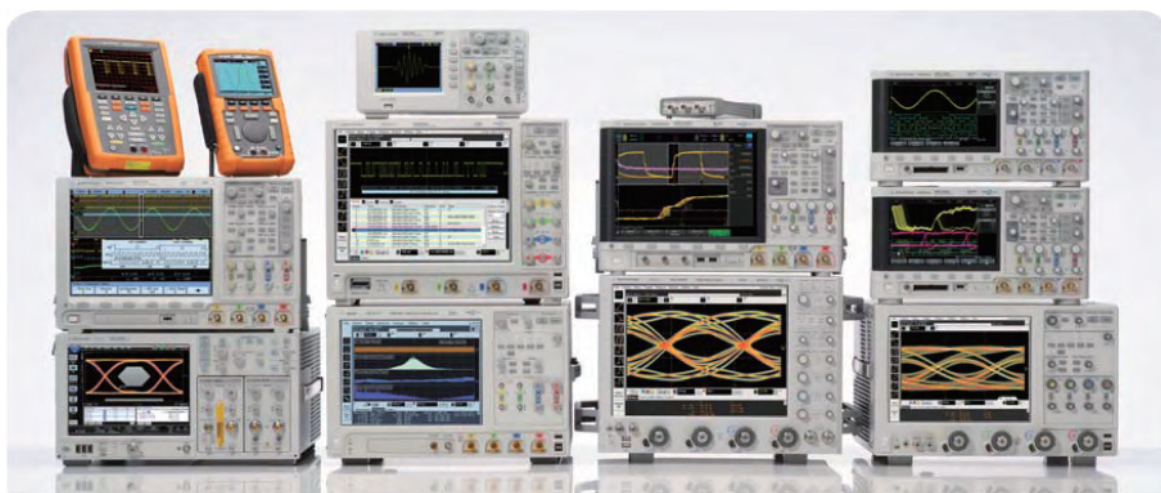
如欲下载上述文档，请在网址中插入出版物编号：

<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/xxxx-xxxxEN.pdf>

产品网站

如欲了解最新和最全面的应用和产品信息，请访问安捷伦产品网站：

www.agilent.com/find/InfiniiVision



安捷伦示波器

从 20 MHz 至 >90 GHz 的多种型号 | 业界领先的技术指标 | 功能强大的应用软件



www.axistandard.org

AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) 是基于 AdvancedTCA 标准的一种开放标准, 将 AdvancedTCA 标准扩展到通用测试和半导体测试领域。安捷伦是 AXIe 联盟的创始成员。



www.lxistandard.org

局域网扩展仪器 (LXI) 将以以太网和 Web 网络的强大优势引入测试系统中。安捷伦是 LXI 联盟的创始成员。



www.pxisa.org

PCI 扩展仪器 (PXI) 模块化仪器提供坚固耐用、基于 PC 的高性能测量与自动化系统。

安捷伦渠道合作伙伴

www.agilent.com/find/channelpartners

黄金搭档: 安捷伦的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷供货渠道完美结合。

Windows® is a U.S. registered trademark of Microsoft Corporation.

安捷伦 优势服务



安捷伦优势服务旨在确保设备在整个生命周期内保持最佳状态, 为您的成功奠定基础。我们不断投资开发新的工具和流程, 努力提高校准和维修效率, 降低拥有成本, 以便您保持卓越的竞争力。您还可以使用 Infoline 网上服务更有效地管理设备和服务。通过共享测量与服务方面的专业经验, 我们能够帮助您设计创新产品。

www.agilent.com/find/advantageservices

Agilent Electronic Measurement Group

DEKRA Certified
ISO 9001:2008
Quality Management System

www.agilent.com/quality

www.agilent.com.cn

www.agilent.com/find/4000X-series

如欲获得安捷伦科技的产品、应用和服务信息, 请与安捷伦公司联系。如欲获得完整的产品列表, 请访问:

www.agilent.com/find/contactus

请通过 Internet、电话、传真得到测试和测量帮助。

热线电话: 800-810-0189、400-810-0189

热线传真: 800-820-2816、400-820-3863

安捷伦科技(中国)有限公司

地址: 北京市朝阳区望京北路3号

电话: (010) 64397888

传真: (010) 64390278

邮编: 100102

上海分公司

地址: 上海张江高科技园区

碧波路690号4号楼1-3层

电话: (021) 38507688

传真: (021) 50273000

邮编: 201203

广州分公司

地址: 广州市天河北路233号

中信广场66层07-08室

电话: (020) 38113988

传真: (020) 86695074

邮编: 510613

成都分公司

地址: 成都高新区南部园区

天府四街116号

电话: (028) 83108888

传真: (028) 85330830

邮编: 610041

深圳分公司

地址: 深圳市福田区中心区

福华一路六号免税商务大厦3楼

电话: (0755) 83079588

传真: (0755) 82763181

邮编: 518048

西安分公司

地址: 西安市碑林区南关正街88号

长安国际大厦D座5/F

电话: (029) 88867770

传真: (029) 88861330

邮编: 710068

安捷伦科技香港有限公司

地址: 香港北角电气道169号25楼

电话: (852) 31977777

传真: (852) 25069292

香港热线: 800-938-693

香港传真: (852) 25069233

E-mail: tm_asia@agilent.com

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改

©Agilent Technologies, Inc. 2012

出版号: 5991-1117CHCN

2012年12月 印于北京



Agilent Technologies