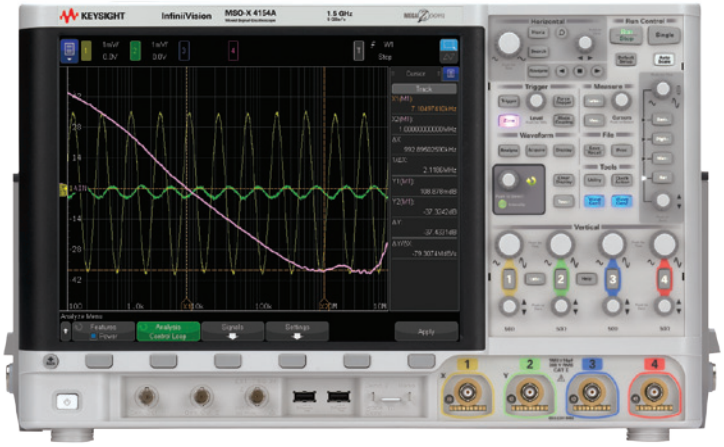
是德科技
电源控制环路响应（伯德图）测量
使用 Keysight InfiniiVision X 系列示波器

应用指南



KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

序言

示波器是电源测试和表征的最重要测量工具。目前，许多示波器（包括 Keysight InfiniiVision X 系列）可以提供特殊的功率测量选件，以帮助工程师自动完成很多重要测量。图 1 显示了 Keysight InfiniiVision 3000T、4000 和 6000 X 系列示波器使用功率测量选件 (DSOX3PWR、DSOX4PWR、DSOX6PWR) 完成的一系列电源特征测量。频率响应测量是是德科技独有的测量功能，它包括控制环路响应（伯德图）和电源抑制比 (PSRR)。此类特定的激励响应测量通常是由低频网络分析仪完成。但是由于 Keysight InfiniiVision X 系列示波器内置了函数 / 任意波形发生器，所以也可用于此类测量。

图 1：使用 Keysight InfiniiVision X 系列示波器完成的电源表征测量

控制环路响应（伯德图）

电源实际上是一个包含了负反馈控制环路的放大器，如图 2 所示。这意味着虽然您可以把电源看作是一个直流放大器，但它实际上会放大交流信号并对输出条件的变化作出响应，比如负载变化。

为了完成控制环路响应测试，您需要跨越一个频段把一个误差信号注入到控制环路的反馈路径中。在图中，这个反馈路径就是指 R1 和 R2 的电阻分压器网络。我们需要把一个较小的电阻器插入到反馈环路中，才能注入一个误差信号。原理图中显示的这个 5 Ω 注入电阻与 R1 和 R2 串联阻抗相比是微不足道的。所以，您也许可以考虑把这个低值注入电阻器 (Rinj) 作为长久使用的测试器件。另外使用一个注入变压器 (例如 Picotest J2101A) 来隔离这个交流干扰信号，从而不产生任何的直流偏置。

此处的测量系统是一台内置 WaveGen 函数 / 任意波形发生器的 InfiniiVision X 系列示波器，可以测量在反馈网络 (Vin) 的顶部和电源稳压直流输出 (Vout) 处的交流电压电平。示波器还可以计算在扫描频段内每个频率点上的增益，dB= 20Log(Vout/Vin)。同时还测量 Vin 和 Vout 之间的相位差。

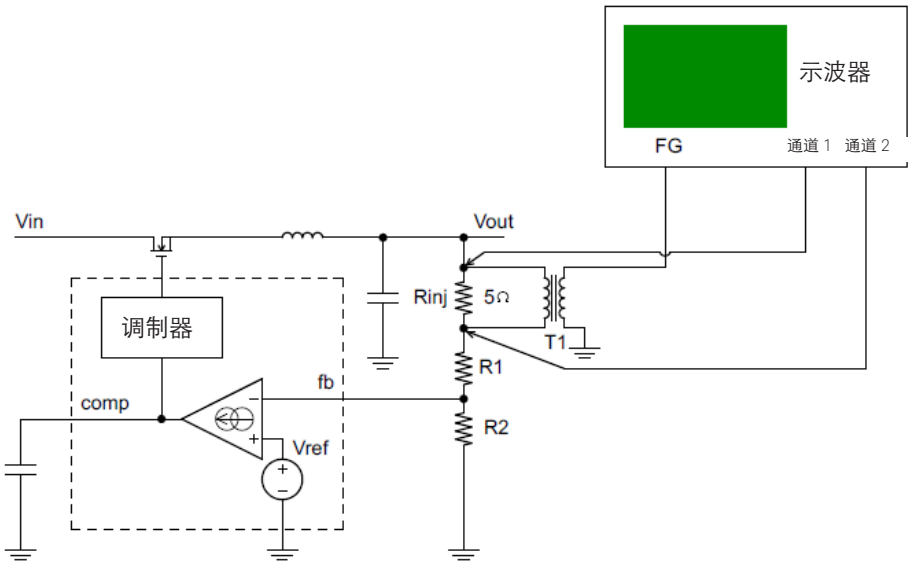


图 2：控制环路响应测试所用的电源闭环反馈网络和示波器连接设置

输入和输出探测

性能良好的探测技术是控制环路响应测试的必备条件。因为 Vin 和 Vout 的峰峰值幅度实际上很低（有些测试频率上的幅度低至子毫伏），这意味着必须使用 1:1 无源探头探测示波器的两个输入通道。另外，恰当的探头接地也是必要的。如果您使用的是具有 1:1 无源探头的标配接地线，这些探头可作为天线来拾取空气中的大量噪声，以便降低测量的动态范围。使用一个接地短弹簧夹适配器（通常作为探头的附件一起提供，参见图 3 所示的插图）可提供最佳的低噪声信号保真度，使用焊入式探头插座则性能更好。

图 3 显示了使用 Picotest J2101A 注入变压器在 Picotest 3.3V 线性稳压器评估板上执行控制环路响应测量的实际测试装置。注意：该探头插座在输入和输出探测点上构成了稳固的接地连接（无需天线！）。

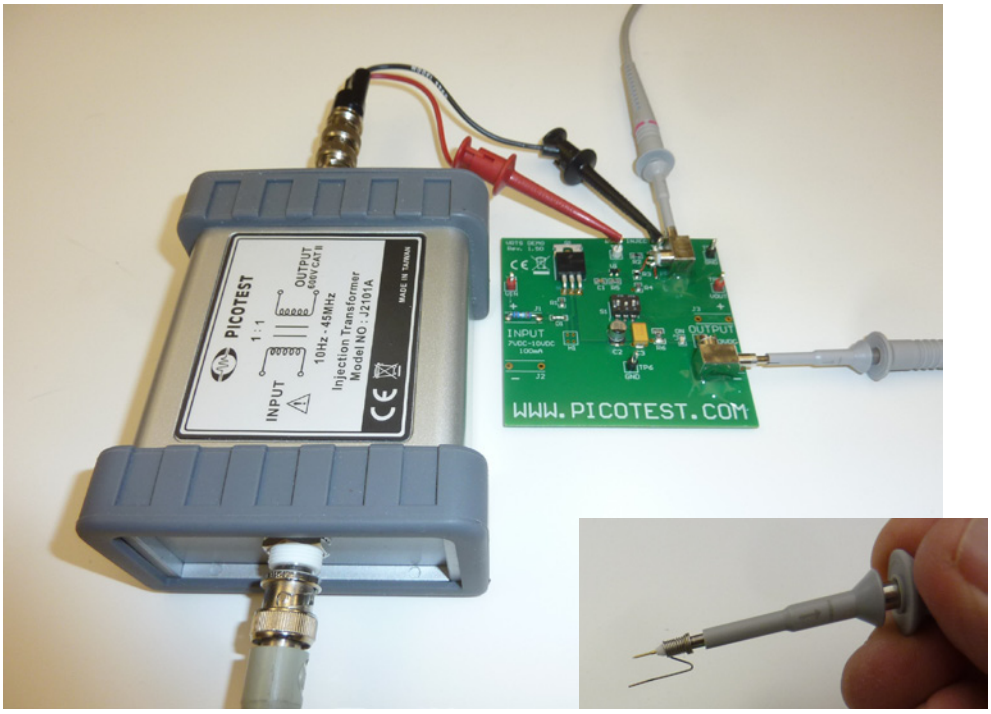


图 3：使用示波器的两个通道来探测直流 - 直流变换器

执行控制环路响应测量

在所有通向被测器件的连接都已完成后，首先在功率分析 (Power Analysis) 菜单中选择控制环路响应 (Control Loop Response) 测量。打开信号 (Signals) 子菜单，设置使用示波器的哪些通道探测输入端和输出端。例如，输入 = 通道 1，输出 = 通道 2。接下来，选择设置 (Settings) 子菜单并设置测试参数，包括起始频率 (Start Frequency)、终止频率 (Stop Frequency) 和 WaveGen 幅度。虽然输入干扰信号的幅度越高越能提供更高的动态范围测量，但是如果幅度设置得过高则会产生非线性失真。在设置 (Settings) 菜单中，您还可以设置最大和最小容积率 (dB)。

只需按下应用 (Apply) 即可开始控制环路响应测量。在单次扫描测试过程中，示波器从内部触发这个 WaveGen 信号以实现极其稳定的触发。在每个测试频率上，示波器会自动优化输入和输出波形的垂直标度，并且求取 8 次平均值，以达到去除随机噪声和提供最大动态范围的目的。测得的输入和输出信号幅度往往低至子毫伏，并被示波器的本底噪声掩盖。随着测试的进行，示波器将在显示屏上绘制增益图 (dB)。

图 4 显示了使用 InfiniiVision X 系列示波器执行控制环路响应测试时得到的增益图。该测试使用了 100 Hz 至 10 MHz 的扫描频率。输入干扰信号的幅度被设置为 130 mVpp，但是在 5 Ω 注入电阻上，输入信号的幅度因为受到注入变压器的低输入阻抗影响下降到了 13 mVpp 左右。在完成扫描测量后，0 dB 交叉点在大约 6.6 kHz 频率上进行测量。

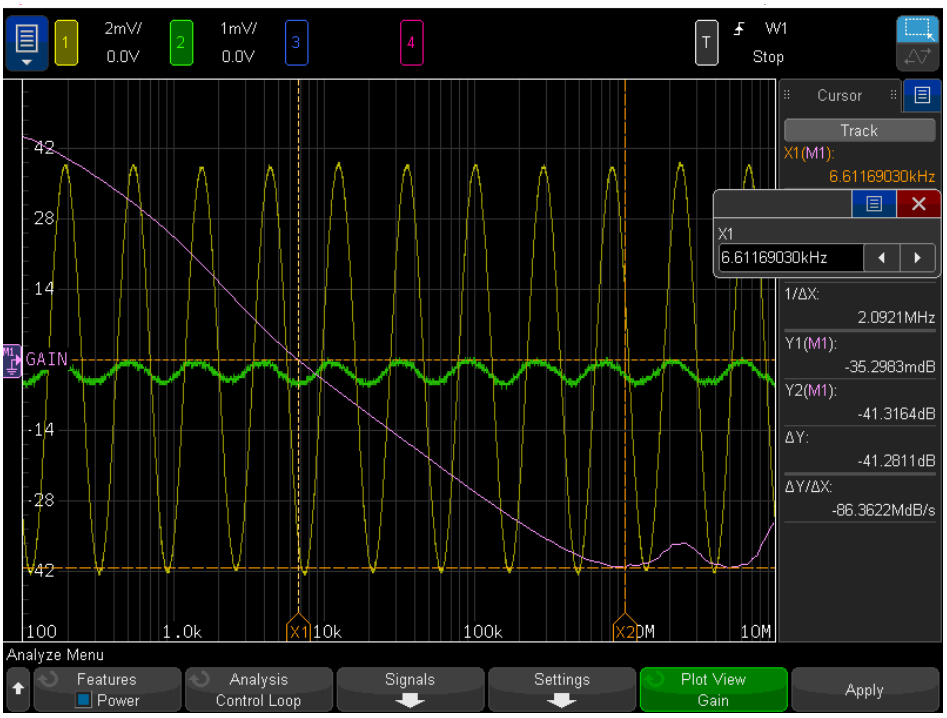


图 4：使用 InfiniiVision X 系列示波器执行控制环路响应增益测量

在增益测量结束后，相位图如图 5 所示。可以看出，图中仅绘制了 800 Hz 到 100 kHz 之间的相位。为了执行相位测量，Vin 和 Vout 的幅度必须近似 1 mVpp 或更高。在光标停在 6.61 kHz(0 dB 交叉频率) 上时，示波器测得的相位裕量约为 56 ° 。因为测量具有低电平输入，所以示波器无法测量增益裕量。

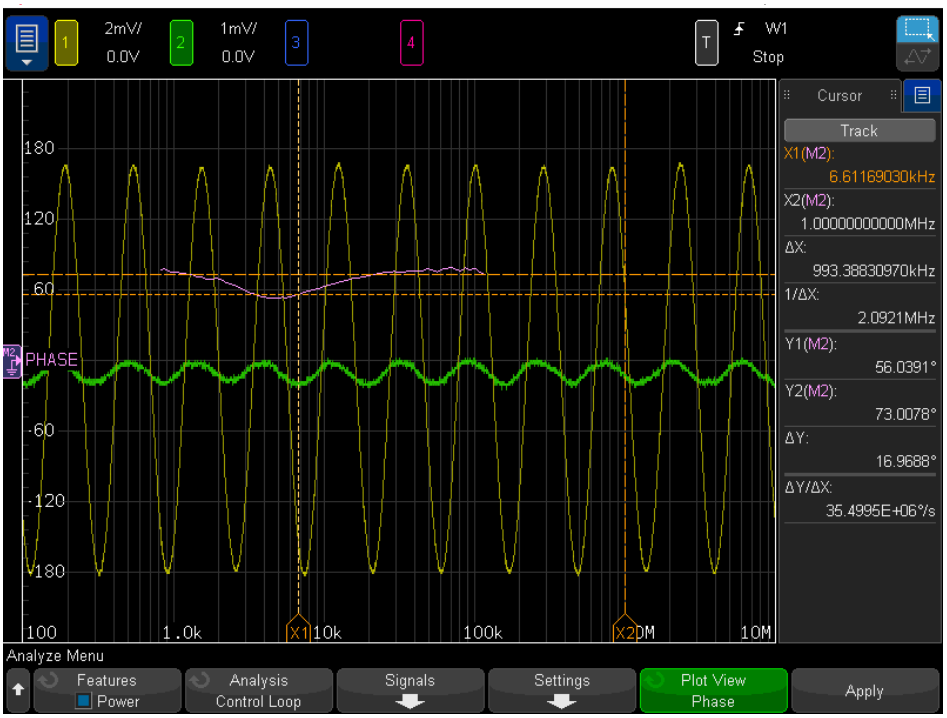


图 5：测量 0 dB 交叉频率上的相位裕量

总结

示波器作为最重要的测量工具，工程师使用它对电源设计进行测试和表征。 但是，大多数示波器在执行频率响应测量时有很大的局限性，例如控制环路响应。Keysight InfiniiVision X 系列是业界首款能够自动执行控制环路响应测量的示波器。虽然示波器的动态范围和精度与低频网络分析仪相比不够出众，但实际上也是够用的。我们将示波器与网络分析仪进行同类产品测试比较，从中可知：在低噪声直流输出上表征线性电源时，InfiniiVision X 系列示波器测得的增益和相位测量结果非常接近于网络分析仪。

系统要求

使用 Keysight InfiniiVision 3000T、4000、6000 X 系列示波器执行控制环路响应测试，需要示波器配置有功率测量选件许可证 (DSOX3PWR、DSOX4PWR、DSOX6PWR)。不要求使用 WaveGen 选件。示波器在执行单次控制环路响应测量时将会自动打开 WaveGen。如欲探测低电平输入和输出信号，建议使用两个 1:1 无源探头 (例如 N2870A)。如欲在示波器 WaveGen 输出到电源反馈网络之间耦合并隔离输入干扰信号，需要使用隔离变压器，例如 Picotest J2101A 注入变压器。如欲了解 Picotest 产品的更多信息，请访问：www.picotest.com。

除了上述的最低系统要求外，3000T 或 4000 X 系列示波器必须运行固化软件版本 4.06 或更高版本，6000 X 系列示波器必须运行固化软件版本 6.10 或更高版本。

相关文献

出版物标题	出版物类型	出版物编号
InfiniiVision 3000T X-Series Oscilloscopes	技术资料	5992-0140EN
InfiniiVision 4000 X 系列示波器	技术资料	5990-1103CHCN
InfiniiVision 6000 X 系列示波器	技术资料	5991-4087CHCN
InfiniiVision X 系列功率测量选件	技术资料	5990-8869CHCN
InfiniiVision 示波器探头和附件	技术资料	5968-8153CHCN
Power Supply Rejection Ratio (PSRR) using Keysight InfiniiVision X-Series Oscilloscopes	应用指南	5992-0594EN
开关电源测量	应用指南	5991-1117CHCN
Making Your Best Power Integrity Measurements	应用指南	5992-0493EN
Tips and Techniques for Making Power Supply Noise Measurements with an Oscilloscope	应用指南	5989-6755EN
如何评估一台用于低功耗测量的示波器	应用指南	5991-4268CHCN
New Probing Technology Enables High Sensitivity, Wide Dynamic Range Current Measurement	应用指南	5991-1951EN

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight
个性化视图为您提供最适合自己的信息!

www.axiestandard.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半导体测试领域。是德科技是 AXIe 联盟的创始成员。

www.lxistandard.org

局域网扩展仪器 (LXI) 将以太网和 Web 网络的强大优势引入测试系统中。是德科技是 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。

3 年保修

www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty
是德科技卓越的产品可靠性和广泛的 3 年保修服务完美结合，从另一途径帮助您实现业务目标: 增强测量信心、降低拥有成本、增强操作方便性。

是德科技保证方案

www.keysight.com/find/AssurancePlans
5 年的周密保护以及持续的巨大预算投入，可确保您的仪器符合规范要求，精确的测量让您可以继续高枕无忧。

www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.
DEKRA Certified ISO 9001:2008
Quality Management System

是德科技渠道合作伙伴

www.keysight.com/find/channelpartners
黄金搭档: 是德科技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。

www.keysight.com/find/scopes-power

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息，请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表，请访问: www.keysight.com/find/contactus

是德科技客户服务热线
热线电话: 800-810-0189、400-810-0189
热线传真: 800-820-2816、400-820-3863
电子邮件: tm_asia@keysight.com

是德科技 (中国) 有限公司
北京市朝阳区望京北路 3 号是德科技大厦
电话: 86 010 64396888
传真: 86 010 64390156
邮编: 100102

是德科技 (成都) 有限公司
成都市高新区南部园区天府四街 116 号
电话: 86 28 83108888
传真: 86 28 85330931
邮编: 610041

是德科技香港有限公司
香港北角电器道 169 号康宏汇 25 楼
电话: 852 31977777
传真: 852 25069233

上海分公司
上海市虹口区四川北路 1350 号
利通广场 19 楼
电话: 86 21 26102888
传真: 86 21 26102688
邮编: 200080

深圳分公司
深圳市福田区福华一路 6 号
免税商务大厦裙楼东 3 层 3B-8 单元
电话: 86 755 83079588
传真: 86 755 82763181
邮编: 518048

广州分公司
广州市天河区黄埔大道西 76 号
富力盈隆广场 1307 室
电话: 86 20 38390680
传真: 86 20 38390712
邮编: 510623

西安办事处
西安市碑林区南关正街 88 号
长安国际大厦 D 座 501
电话: 86 29 88861357
传真: 86 29 88861355
邮编: 710068

南京办事处
南京市鼓楼区汉中路 2 号
金陵饭店亚太商务楼 8 层
电话: 86 25 66102588
传真: 86 25 66102641
邮编: 210005

苏州办事处
苏州市工业园区苏华路一号
世纪金融大厦 1611 室
电话: 86 512 62532023
传真: 86 512 62887307
邮编: 215021

武汉办事处
武汉市武昌区中南路 99 号
武汉保利广场 18 楼 A 座
电话: 86 27 87119188
传真: 86 27 87119177
邮编: 430071

上海 MSD 办事处
上海市虹口区欧阳路 196 号
26 号楼一楼 J+H 单元
电话: 86 21 26102888
传真: 86 21 26102688
邮编: 200083

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改
© Keysight Technologies, 2015
Published in USA, May 21, 2015
出版号: 5992-0593CHCN
www.keysight.com